



LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Lahti University of Applied Sciences

KIERRÄTYSASFALTIN TEKNINEN HYÖDYNTÄMINEN

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Ympäristötekniikka
Ympäristöteknologia
Opinnäytetyö
Kevät 2014
Henri Väisänen

Lahden ammattikorkeakoulu
Ympäristötekniikka

VÄISÄNEN, HENRI:

Kierrätysasfaltin tekninen
hyödyntäminen

Ympäristötekniikan opinnäytetyö, 48 sivua, 4 liitesivua

Kevät 2014

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Lemminkäinen Infra Oy ja työ käsittelee asfalttirouheen vaikutuksia asfalttipäällysteeseen. Asfalttirouheesta saadaan usein se kuva, että valmistettava päällyste olisi huonolaatuisempaa kuin neitseellisistä materiaaleista valmistettu päällyste. Työn tarkoituksena on lisätä tietoisuutta asfalttirouheen vaikutuksista päällysteeseen ja sitä kautta osoittaa, että asfalttirouhetta sisältävät päällysteet ovat ominaisuuksiltaan ja kestävyydeltään yhtä hyviä kuin pelkästään neitseellisiä materiaaleja sisältävät päällysteet.

Asfalttirouheen käyttö on viime vuosina lisääntynyt huomattavasti, joten on tärkeää tietää, kuinka asfalttirouhe vaikuttaa päällysteen ominaisuuksiin. Asfalttirouheen vaikutuksia päällysteeseen selvitettiin laboratoriokokeilla, kirjallisuustutkimuksen avulla sekä käyttökokemusten perusteella. Vaikutusten selvittämistä varten laadittiin myös tutkimussuunnitelma, jonka avulla selvitetään asfalttirouheen vaikutuksia päällysteeseen pitkällä aikavälillä.

Laboratoriossa tehtävään päällysteiden suunnitteluun ei ole tähän mennessä ollut yhtenäistä ohjetta, joten jokainen laboratorion työntekijä on tehnyt ne omalla tavallaan. Tulosten vertailukelpoisuuden takia olisi kuitenkin tärkeää, että suunnittelu tehtäisiin aina samalla tavalla. Työn tavoitteena oli yhtenäistää asfalttimassojen suunnitteluun liittyvä menettely sekä selvittää paras tapa suunnitella kierrätysasfalttimassoja. Sopivaa suunnittelutapaa selvitettiin pääasiassa laboratoriokokeiden avulla. Lisäksi tavoitteena oli ohjeistaa asfalttiasemia rouheen käytössä.

Asfalttirouhe vaikuttaa päällysteeseen pääasiassa vain koventamalla päällysteen sideainetta. Suurilla rouhepitoisuuksilla rouhe saattaa myös hienontaa päällysteen rakeisuuskäyrää, koska rouhe hienonee murskauksen yhteydessä. Tulosten perusteella asfalttirouheen käyttö ja sen käytön lisääntyminen ei ole aiheuttamassa haittaa tiestön kunnolle, kun rouheen vaikutukset päällysteen ominaisuuksiin otetaan huomioon oikealla tavalla.

Asfalttimassan valmistus laboratoriossa eroaa paljon asfalttiasemilla tapahtuvasta massan valmistuksesta. Kierrätysasfalttipäällysteiden suunnitteluohje on tehty tämän hetken tietoisuuden perusteella, joten suunnitteluohjetta on muutettava, jos massan valmistus halutaan muuttaa enemmän asfalttiasemien kaltaiseksi.

Asiasanat: asfaltti, bitumi, asfalttirouhe, päällyste, massanvalmistus

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Environmental Technology

VÄISÄNEN, HENRI:

Technical utilization of recycled asphalt

Bachelor's Thesis in environmental engineering, 48 pages, 4 pages of appendices

Spring 2014

ABSTRACT

This Bachelor's Thesis is about the influence of reclaimed asphalt pavement (RAP) on asphalt pavement. The usual opinion is that asphalt pavement made with RAP is not as durable as asphalt that contains only virgin materials. The aim of this Thesis was to increase the knowledge of RAP's influence on asphalt pavement and also prove that RAP is better than its reputation. In addition, the use of RAP has increased significantly in the last few years so it is important to know how RAP affects asphalt pavement. Research for this Thesis was based on user experience, literature study and experimental study. One goal was also to produce a research plan which aims at defining the long-term durability of recycled asphalt.

There has not been a single way to design asphalt pavements in laboratory so every employee has done it differently. One aim of this Thesis was to produce a coherent guide for designing of asphalt pavements and also to determine the best way to design them. The experimental study was carried out to define the best way of designing asphalt pavements. An additional aim was also to instruct the asphalt plants on using RAP.

The main result of this Thesis was that RAP principally only stiffens the asphalt. A few researches also show that the binder of recycled asphalt has almost the same features as fresh binders. When the RAP content is high, RAP could also decrease the granule size of asphalt because RAPs are almost always finer than normal asphalt pavement. Based on the results, the use of RAP is not going to have an effect on the durability or quality of asphalt pavement, as long as the properties of RAP are taken into account.

Manufacturing of asphalt is quite different in the laboratory than it is at the asphalt plant. Designing guide that was produced in this Thesis is based on current knowledge and the procedure. If the aim is to manufacture asphalt in the laboratory in the same way as at asphalt plants, the designing guide has to be modified.

Key words: asphalt, reclaimed asphalt pavement, bitumen, pavement,

SISÄLLYS

| | | |
|--------|---|-----|
| 1 | JOHDANTO | VII |
| 2 | KIERRÄTYSASFALTTI | 2 |
| 2.1 | Kierrätysasfaltin historia | 2 |
| 2.2 | Kierrätysasfaltin edut | 3 |
| 2.2.1 | Ympäristö | 3 |
| 2.2.2 | Talous | 4 |
| 2.3 | Asfalttirouheelle asetetut vaatimukset | 4 |
| 2.4 | Kierrätysasfalttimassan valmistusmenetelmät | 5 |
| 3 | BITUMIN KEMIA | 6 |
| 3.1 | Bitumin ominaisuudet | 7 |
| 3.1.1 | Viskoelastisuus | 8 |
| 3.1.2 | Tunkeuma ja bitumiluokat | 9 |
| 3.1.3 | Muita menetelmiä | 10 |
| 3.2 | Bitumin vanheneminen | 13 |
| 3.2.1 | Vanhenemisen merkitys | 14 |
| 3.2.2 | Bitumin elvyttäminen | 15 |
| 4 | ASFALTTIMASSAN SUUNNITTELU | 18 |
| 4.1 | Tilavuussuhteet | 19 |
| 4.2 | Deformaatiokestävyys | 20 |
| 4.3 | Vedenkestävyys | 21 |
| 5 | LABORATORIOKOKKEET | 22 |
| 5.1 | Menettely ja tulokset | 23 |
| 5.1.1 | Laadunvalvontanäytteiden menettely | 23 |
| 5.1.2 | Laadunvalvontanäytteiden tulokset | 23 |
| 5.1.3 | Massanäytteiden menettely | 25 |
| 5.1.4 | Massanäytteiden tulokset | 26 |
| 5.1.5 | Massan suunnittelukokeen menettely | 28 |
| 5.1.6 | Massan suunnittelukokeen tulokset | 29 |
| 5.1.7 | Deformaatiokestävyyskokeen menettely | 30 |
| 5.1.8 | Deformaatiokestävyyskokeen tulokset | 31 |
| 5.1.9 | Ylikuumenemiskokeen menettely | 33 |
| 5.1.10 | Ylikuumenemiskokeen tulokset | 35 |

| | | |
|--------|--------------------------------------|----|
| 5.1.11 | Massan vanhentamiskokeen menettely | 36 |
| 5.1.12 | Massan vanhentamiskokeen tulokset | 37 |
| 5.1.13 | Kierrätysasfaltin käyttö rouheena | 39 |
| 6 | KOEKOHTEIDEN NÄYTTEENOTTOSUUNNITELMA | 41 |
| 7 | YHTEENVETO | 43 |
| | LÄHTEET | 46 |
| | LIITTEET | 49 |

LYHENTEET JA KÄSITTEET

| | |
|--|---|
| AA | Avoin asfaltti (numero kirjainten perässä tarkoittaa kyseisen asfalttimassan maksimiraekokoa). |
| AB | Asfalttibetoni (numero kirjainten perässä tarkoittaa kyseisen asfalttimassan maksimiraekokoa). |
| ABK | Kantavan kerroksen asfalttibetoni (numero kirjainten perässä tarkoittaa kyseisen asfalttimassan maksimiraekokoa). |
| ABS | Sidekerroksen asfalttibetoni (numero kirjainten perässä tarkoittaa kyseisen asfalttimassan maksimiraekokoa). |
| ABT | Tiivis asfalttibetoni (numero kirjainten perässä tarkoittaa kyseisen asfalttimassan maksimiraekokoa). |
| A _N 7 tai A _N 10 | Nastarengaskulutuskestävyys luokka kiviaineksille, joiden kuulamylyarvo on alle 7 tai 10. (Muita luokkia ovat A _N 10, A _N 14 ja A _N 19). |
| Deformaatio | Päällysteen plastinen muodonmuutos. |
| Gilsoniitti | Luonnonbitumi, jota voidaan käyttää asfaltin lisäaineena. Gilsoniitin tunkeuma on $\leq 5 \cdot 0,1$ mm. |
| KB | Kumibitumi (numero kirjainten perässä tarkoittaa kyseisen bitumin pehmenemispistettä). |
| Karkea kiviaines | Murskattu kiviaines, josta on poistettu osa pienistä kiviainesfraktioista, esim. 11/22. |
| Koostekiviaines | Murskattu kiviaines, joka sisältää kaikkia kiviainesfraktioita maksimiraekokoon asti, esim. 0/16. |
| Litteysluku | Kiviaineksen liuskeisuutta kuvaava arvo. |

| | |
|------------------|---|
| Mastiksi | Bitumin ja hienoaineksen muodostama seos, joka täyttää asfaltin kiviaineksen muodostamaa tyhjätillaa. |
| PAB-B | Pehmeä asfalttibetoni (numero kirjainten perässä tarkoittaa kyseisen asfalttimassan maksimiraekokoa). |
| SMA | Kivimastiksiasifaltti (numero kirjainten perässä tarkoittaa kyseisen asfalttimassan maksimiraekokoa). |
| Bitumin tunkeuma | Bitumin kovuutta kuvaava arvo, jonka yksikkö on 0,1 mm. |
| Tyypitestausta | Asfalttimassan testaus, jonka avulla voidaan todentaa ja osoittaa, että asfalttimassa vastaa tuotestandardin vaatimuksia. |

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on Lemminkäinen Infra Oy, ja työ tehdään osana Lahden ammattikorkeakoulun ympäristötekniikan koulutusohjelmaa. Opinnäytetyön tarkoituksena on lisätä tietoisuutta asfalttirouheen vaikutuksista valmistettavaan asfalttimassaan. Viime vuosina asfalttirouheen käyttömäärät ovat kasvaneet merkittävästi tekniikan kehittymisen myötä, joten on tärkeää tietää, miten asfalttirouhe vaikuttaa asfalttimassaan ja miten kierrätysasfalttimassoja tulisi suunnitella. Vaikutuksia selvitetään laboratoriossa tehtyjen kokeellisten tutkimusten perusteella, kirjallisuustutkimuksen avulla sekä käyttökokemusten perusteella. Tutkimuksessa keskitytään pääasiassa valmistettavan kierrätysasfalttimassan sisältämän bitumin ominaisuuksiin ja vanhenemiseen.

Kokeellisten tutkimusten ja kokemusten perusteella laaditaan ohje kierrätysasfalttimassojen suunnittelua varten. Ohjeen tavoitteena on selkeyttää ja yhtenäistää suunnittelumassojen valmistukseen ja tutkimiseen liittyvää menettelyä. Massojen suunnitteluohjeen lisäksi myös asfalttiasemia ohjeistetaan rouheen käytössä.

Viimeisenä osana opinnäytetyötä valitaan koekohteet, joissa on käytetty asfalttirouhetta sisältäviä päällysteitä. Koekohteille laaditaan tutkimussuunnitelma, jossa määritetään otettavien näytteiden määrä sekä niille tehtävät laboratoriokokeet. Koekohteiden tarkoituksena on selvittää asfalttirouheen vaikutuksia valmistettuun asfalttipäällysteeseen pitkällä aikavälillä.

2 KIERRÄTYSASFALTTI

Kierrätysasfaltti on asfalttia, jonka raaka-aineena on käytetty asfalttirouhetta. Asfalttirouheeksi puolestaan nimitetään vanhaa asfalttia, joka on murskattu. (PANK ry 2011, 39.) Rouhe kerätään eri puolilta Suomea ja toimitetaan murskaukseen ja varastoihin. Rouheen tarkkaa lähdettä ei siis useinkaan tiedetä. (Laitinen 2013.)

Asfalttirouhe voi sisältää kaikkia massatyyppejä ja bitumilaatuja. Massatyypeistä ainoastaan valuasfaltit pyritään poistamaan asfalttirouheen joukosta, koska niiden tavallista korkeampi bitumipitoisuus aiheuttaa rouheeseen heterogeenisyyttä. (Laitinen 2013.) Asfalttirouheiden bitumi on bitumin vanhenemisen takia erittäin kovaa, joten se ei sellaisenaan ole kovin käyttökelpoista uuden päällysteen valmistamiseen.

Murskauksen yhteydessä asfalttirouhe homogenisoituu. Murskaus tehdään usein 2 - 3 vuoden rouhetarvetta ajatellen, joten rouhetta varastoidaan melko pitkiä aikoja. Paikoittain rouhetta joudutaan murskaamaan useamman kerran vuodessa, koska käyttömäärät ovat niin suuria. Rakeisuuskäyrältään asfalttirouheet ovat murskauksen takia usein hieman hienompia kuin asfalttipäällysteissä käytettävät rakeisuuskäyrät. Erityisesti hienoaineksen määrä on rouheessa usein korkea. (Laitinen 2013.)

2.1 Kierrätysasfaltin historia

Asfalttirouhetta käytettiin ensimmäisen kerran Yhdysvalloissa vuonna 1915, mutta laajamittaisempi käyttö aloitettiin vasta 1970-luvulla, kun öljyn hinta alkoi nousta ja tekniikka kehittyä (Bonte & McDaniel 2009). Suomessa asfalttirouheiden käyttö alkoi myös 1970-luvulla, kun käyttöön otettiin rumpusekoittimia. Rumpusekoittimista kuitenkin luovuttiin jo kymmeniä vuosia sitten, kun normaaleille asfalttiasemille kehitettiin laitteistoja, joiden avulla rouhetta pystytään käyttämään asfaltin raaka-aineena. 1990-luvulta lähtien asfalttirouheen käyttö on alkanut merkittävästi lisääntyä, ja nykyään lähes kaikki Suomen asfalttiasemat pystyvät hyödyntämään asfaltin valmistuksessa asfalttirouhetta. (Forstén 2013b.)

Asfalttirouhetta käytetään massoissa yleensä 15–50 % asfalttiaseman tekniikasta riippuen. Tekniikaltaan parhaat asemat pystyvät kuitenkin käyttämään rouhetta jopa 70 %. (Forstén 2013b.) Useimmiten tekniikka ei kuitenkaan ole käyttöä rajoittava tekijä vaan rouheen saatavuus. Joillakin alueilla asfalttirouheesta on pulaa ja joillakin paikoilla sitä on ylenmäärin.

2.2 Kierrätysasfaltin edut

Asfaltti on yksi maailman parhaiten kierrätettävistä materiaaleista. Jopa 100 % vanhasta päällysteestä voidaan hyödyntää uuden päällysteen valmistuksessa (Lämsä 2005, 16). Sekoittamalla asfalttirouhetta uuden asfalttimassan joukkoon saavutetaan huomattavia etuja niin taloudellisuuden kuin ympäristönkin näkökulmasta.

2.2.1 Ympäristö

Asfalttipäällyste sisältää pääosin vain kiviainesta ja bitumia, jotka ovat molemmat uusiutumattomia raaka-aineita. Asfalttirouhe sisältää samoja raaka-aineita kuin ”neitseellinen” asfaltti ja sitä voidaan siten hyödyntää yhtenä asfaltin raaka-aineena. Uusioasfaltti voi sisältää jopa 70 % asfalttirouhetta, joten hyödyntämällä asfalttirouhetta asfalttimassan raaka-aineena, säästetään merkittävästi luonnonvaroja (Forstén 2013b).

Luonnonvarojen säästyminen ei kuitenkaan ole ainoa asfalttirouheen käytön eduista. Asfalttirouheesta saatavan bitumin ja kiviaineksen ansiosta uuden bitumin valmistukseen ja uuden kiviaineksen murskaukseen kuluu huomattavasti vähemmän energiaa (Lämsä 2005, 16). Kiviaineksen murskauksen, bitumin tislauksen ja materiaalien kuljetusten vähentyessä myös asfalttimassan valmistuksesta aiheutuvat päästöt pienenevät (Forstén 2013a).

Asfalttirouhe on Suomen lainsäädännön mukaan luokiteltu jätteeksi, vaikka kyseessä on uusioraaka-aine. Koska asfalttirouhe on kuitenkin luokiteltu jätteeksi, sen varastointi ja käyttö on ympäristöluvanvaraista toimintaa. Jätteeksi luokittelun takia asfalttirouheen varastointi vaatii tarkkaa kirjanpitoa siitä, kuinka paljon

varastokasoille saapuu ja kuinka paljon sieltä viedään rouhetta pois. (Lämsä 2005, 16.) Lisäksi ympäristöluvassa mainitaan, kuinka paljon asfalttirouhetta saadaan varastoida ja käyttää vuosittain. Asfalttirouheen on oltava standardin SFS-EN 13108-8 mukaista (PANK ry 2011, 39). Asfalttirouheen käyttöön liittyy siis isoja haasteita, mutta sen käyttö on tästä huolimatta erittäin järkevää. Mikäli asfalttirouhetta ei hyödynnetä uusioraaka-aineena, se päättyy kaatopaikoille. Uusiokäyttämällä asfalttia noudatetaan siis täysin kestävän kehityksen mukaisia periaatteita.

2.2.2 Talous

Rouheiden käytöllä saatava taloudellinen hyöty muodostuu pääosin rouheen sisältämän bitumin ansiosta (Lämsä 2005, 18). Vaikka asfalttipäällysteet sisältävät prosentuaalisesti vain vähän bitumia, muodostuu suurin taloudellinen hyöty bitumin säästämisestä (Laitinen 2013). Päällystävä yritys ei ole ainoa, joka hyötyy taloudellisesti materiaalisäästöistä. Myös tien ylläpitäjä eli päällystystyön maksaja saa edullista päällystettä, jonka huoltokustannukset ovat edulliset. Raaka-ainesäästöjen ohella päällystävä yritys säästää myös logistiikka- ja energiakustannuksissa (Forstén 2013a).

2.3 Asfalttirouheelle asetetut vaatimukset

Suomessa asfalttirouhetta saa nykyään käyttää päällysteen kulutuskerroksessa enintään 50 % ja rakennekerroksessa enintään 70 %. Suurempi rouhepitoisuus voidaan sallia tapauskohtaisesti kohteissa, joissa kiviaineksen luokkavaatimukset ovat riittävän alhaiset. Massan valmistukseen käytetty rouhepitoisuus on kuitenkin aina ilmoitettava kyseisen asfalttimassan tyyppitestausraportissa. Asfalttirouheesta ilmoitettavat tiedot ja testattavat ominaisuudet määräytyvät liitteen 1 mukaisesti käyttökohteen ja käytetyn rouhepitoisuuden mukaan. Asfalttirouheesta on lisäksi tutkittava nastarengaskulutuskestävyys, jos päällystyskohteen kiviainekselle on asetettu lujuusluokkavaatimus A_{N7} tai A_{N10} . (PANK ry 2011, 39.)

Suomessa asfalttirouheen sideaineen kovuudelle ei ole erikseen asetettu vaatimuksia, mutta monissa muissa Euroopan maissa on. Esimerkiksi Saksassa

asfalttirouheen sideaineen tunkeuman on oltava yli $15 * 0,1$ mm, jotta rouheen käyttö on sallittua. Tunkeumavaatimuksen lisäksi osassa Euroopan maissa asfalttirouheen sideaineelle on asetettu myös pehmenemispistevaatus. Saksassa pehmenemispisteen on oltava alle $70\text{ }^{\circ}\text{C}$, jotta asfalttirouheen käyttäminen on sallittua. (CEN TC227 WG1 & EAPA TC 2013, 1.)

2.4 Kierrätysasfalttimassan valmistusmenetelmät

Kierrätysasfalttimassan valmistus vastaa uuden asfalttimassan valmistusta. Ainoana erona on, että massaan lisätään asfalttirouhetta. Rouheen lisäämiseen käytetään kolmea erilaista lisäystapaa, jotka ovat syöttö suoraan sekoittajaan, keskisyöttö ja rumpusyöttö. Rouhetta voidaan käyttää massassa enintään 10 %, jos rouhe lisätään suoraan sekoittajaan. Keskisyötöllä rouhetta voidaan käyttää massassa enintään 30 % ja rumpusyötöllä enintään 70 %. Rouheen lisäystapa on riippuvainen tekniikasta, joka asfalttiasemalla on käytössä. Lisäksi on olemassa Remix-työmenetelmä, joka on kuitenkin rajattu tämän opinnäytetyön ulkopuolelle.

3 BITUMIN KEMIA

Bitumi on haihtumaton orgaaninen sideaine, jota syntyy runsaasti asfalteenia sisältävän raakaöljyn tislauksen pohjatuotteena. Bitumi siis sisältää raakaöljyn kaikkein raskaimmat ja huonoiten haihtuvat hiilivedyt. Raskaiden hiilivetyjen ansiosta bitumi on usein huoneenlämmössä erittäin viskoosista tai kiinteää ainetta, riippuen tarkasteltavan bitumin kovuusluokasta. (Nynäs AB 2012.)

Bitumi koostuu erilaisista hiilivedyistä, joilla on suuri molekyylipaino. Hiilivetyjen pääelementit ovat suoraketjuiset alkaanit, haarauneet alkaanit, tyydyttyneet renkaat ja aromaattiset renkaat. Bitumi sisältää myös pieniä määriä happea, rikkiä, typpeä ja eri metalleja. Vaikka bitumin sisältämät aineet tunnetaan hyvin, ei bitumin tarkkaa rakennetta silti tunneta. (Nynäs AB 2012.)

Raakaöljyn laatu vaikuttaa merkittävästi valmistettavan bitumin saantimääriin sekä bitumin ominaisuuksiin. Kaikki raakaöljyesiintymät ovat laadultaan erilaisia, koska ne ovat syntyneet eri aikoina ja erilaisissa ympäristöissä. Erilaisuuden takia raakaöljystä valmistetun bitumin ominaisuudet saattavat vaihdella suurestikin eri esiintymien välillä. Tiheydeltään kaikkein suurimmat raakaöljyt ovat bitumin tuotannon kannalta usein optimaalisimpia, koska niistä bitumin saanti on suurinta. Bitumin fysikaalisiin ominaisuuksiin puolestaan vaikuttaa valmistukseen käytetyn raakaöljyn hartsi- ja asfalteenipitoisuus sekä asfalteenien rakenne. (Ahvenainen, Blomberg, Eskola, Haapavaara, Halonen, Heinäsmäki, Laine, Laitinen, Martikainen, Määttänen, Noponen, Parviainen, Perttunen, Pohjola & Turunen 2001.)

Asfalteenin määrä vaikuttaa pääosin bitumin kovuuteen ja jäykkyyteen. Mitä enemmän asfalteenia bitumi sisältää, sitä kovempaa ja jäykempää se on. Bitumin kovuuteen vaikuttaa se, kuinka paljon raakaöljystä tislataan öljyjakeita pois. Mitä enemmän öljyjakeita tislataan muuhun käyttöön, sen kovemmaksi ja jäykemmäksi saatava bitumi muuttuu, koska öljyjakeiden vähentyessä asfalteenin suhteellinen pitoisuus bitumissa kasvaa. (Laitinen 1992, 4, 8.) Bitumin ominaisuudet ovat nykyään muuttuneet jo hieman erilaisiksi kuin ennen. Öljynjalostuksen kehittymisen myötä bitumi sisältää yhä vähemmän öljyjakeita, koska öljynjalostajat saavat paremman hinnan polttoaineiden myynnistä kuin bitumin

myynnistä. Öljynjalostuksen kehittymisen seurauksena myös bitumin laatuvaihtelut ovat lisääntyneet, joten bitumin laadunvalvonnan merkitys on nykyään yhä suurempaa. Nykyiset laadunvalvontamenetelmät eivät kuitenkaan välttämättä paljasta laatuvaihtelua. Muutokset bitumissa saattavat aiheuttaa muutoksia myös asfalttipäällysteen toiminnallisiin ominaisuuksiin. (Laitinen 2013.)

3.1 Bitumin ominaisuudet

Bitumin tärkeimmät ominaisuudet sen käyttösovellusten kannalta ovat hyvä tartuntakyky, hyvä vedeneristyskyky ja sitkeys. Sulassa muodossa bitumi on erittäin helposti työstettävää ainetta ja heti jähmettyttyään käyttövalmista. Näiden ominaisuuksien ansiosta bitumia voidaan käyttää sideaineena ja liimana mitä erilaisimmissa käyttökohteissa. Lisäksi bitumi on myrkytön ja öljyjä lukuun ottamatta kemiallisesti hyvin inertti aine, joten se soveltuu hyvin säälle alttiina oleviin käyttökohteisiin. (Ahvenainen ym. 2001.)

Teiden rakentamiseen ja kunnostamiseen käytettäviä bitumeita on erilaisia. Liitteissä 2 ja 3 on lueteltuna kaikki tiebitumit ja pehmeät tiebitumit sekä niille asetetut laatuvaatimukset. Liitteiden 2 ja 3 bitumien lisäksi on olemassa viskositeettiluokiteltuja tiebitumeja, bitumiliuoksia, polymeerimodifioituja bitumeja sekä bitumiemulsioita. (PANK ry 2011, 29.) Jokainen bitumilaatu antaa päällysteelle erilaiset ominaisuudet, joten bitumilaatu pitää valita käyttökohteen mukaan. Bitumin valintaa hankaloittaa usein se, että parannettaessa jotain päällysteen ominaisuutta jokin toinen ominaisuus heikkenee.

Bitumin valinta vaikuttaa oleellisesti myös asfalttiaseman energiankulutukseen, koska pehmeä bitumi muuttuu juoksevaan muotoon alhaisemmassa lämpötilassa kuin kova bitumi. Taulukosta 1 havaitaan, että massan valmistuslämpötilaa voidaan laskea kymmenellä asteella aina, kun siirrytään käyttämään pehmeämpää bitumiluokkaa. Kivimastiksiasfalteilla ja valuasfalteilla käytetään kuitenkin tavallista korkeampia sekoituslämpötiloja. Kivimastiksiasfaltti sekoitetaan 20 °C korkeammassa lämpötilassa kuin taulukossa 1 on esitetty ja valuasfaltti enintään 230 °C:n lämpötilassa. Kumibitumia käytettäessä sekoituslämpötila on

maksimissaan 200 °C, koska korkeammissa lämpötiloissa bitumin sisältämät kumikomponentit saattavat vaurioitua. (PANK ry 2011, 46.)

TAULUKKO 1. Massan lämpötilarajat asfalttiasemalla (PANK ry 2011, 46)

| Bitumiluokka | Lämpötila [°C] |
|------------------|----------------|
| KB | 170–200 |
| 35/50 | 160–200 |
| 50/70 | 150–190 |
| 70/100 | 140–180 |
| 100/150, 160/220 | 130–170 |
| 250/330, 330/430 | 120–160 |
| 500/650 | 110–150 |
| 650/900 | 110–140 |

3.1.1 Viskoelastisuus

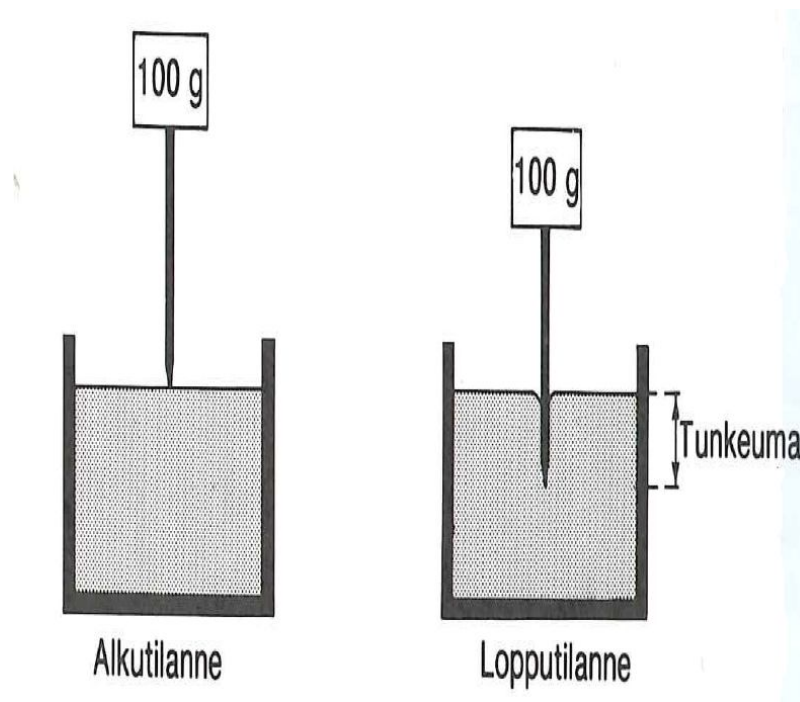
Bitumilla on sekä viskooseja että elastisia ominaisuuksia, eli se on viskoelastinen aine. Viskoelastisuus tarkoittaa sitä, että bitumin ominaisuudet ovat riippuvaisia sekä lämpötilasta että kuormitusajasta. (Belt, Lämsä, Savolainen & Ehrola 2002, 30.) Viskoelastisella alueella bitumilla on viskooseja ja elastisia ominaisuuksia. Viskoelastinen alue kattaa usein juuri bitumin käyttölämpötila-alueen. (Blomberg 1990, 60.) Matalissa lämpötiloissa ja lyhyillä kuormitusajoilla bitumi käyttäytyy

elastisen aineen tavoin ja vastaavasti korkeissa lämpötiloissa ja pitkillä kuormitusajoilla bitumi käyttäytyy viskoosin nesteen tavoin. Viskoelastisen rakenteen takia bitumilla sidottuun rakenteeseen syntyy jokaisella kuormituskerralla muodonmuutos. (Belt ym. 2002, 30.) Muodonmuutoksista osa on pysyviä ja osa palautuvia. Esimerkiksi jos nastarenkaan nasta iskee tienpinnassa olevaa mastiksia ja mastiksi on jäykkydeltään elastista, syntyy mastiksiin murtuma, mikäli nastan isku ylittää mastiksin iskumurtolujuuden. Puolestaan jos mastiksi on jäykkydeltään viskoosia, nastan isku aiheuttaa mastiksiin vain pienen muodonmuutoksen. (Leinonen 1988, 3.) Tieolosuhteissa lämpötilan vaihtelut voivat olla erittäin suuria, joten päällysteen ominaisuudet saattavat vaihdella suurestikin kimmoisan, viskoelastisen tai viskoosisen välillä (Ehrola & Liimatta 1999, 16).

3.1.2 Tunkeuma ja bitumiluokat

Suomessa bitumit jaetaan eri kovuusluokkiin usein bitumin tunkeuman eli jäykkyuden perusteella. Esimerkiksi bitumiluokka 70/100 tarkoittaa, että bitumin tunkeuman tulos on 70–100. Tunkeuma mitataan menetelmällä SFS-EN 1426. Tunkeuman avulla tiebitumit voidaan jakaa kahteen ryhmään: tiebitumeihin ja pehmeisiin tiebitumeihin. Liitteessä 2 ja 3 on esitetty tiebitumeille ja pehmeille tiebitumeille asetetut laatuvaatimukset.

Tiebitumien tunkeuma mitataan 25 °C:n lämpötilassa ja tunkeuman arvo on 20–220 * 0,1 mm. Pehmeiden tiebitumien tunkeuma puolestaan mitataan 15 °C:n lämpötilassa ja sen arvo on 250–900 * 0,1 mm. (PANK ry 2011, 29.) Tunkeuma mitataan kolmesta kohtaa neulalla, jolla bitumia kuormitetaan viiden sekunnin ajan 100 g:n painolla. Kuvassa 1 on esitetty bitumin tunkeuman mittaaminen. Tunkeuma pystytään laskemaan sen perusteella, kuinka syvälle bitumiin neula uppoaa. Tunkeuma ilmoittaa bitumin neulakovuusarvon 0,1 mm:n tarkkuudella. (PANK ry 1988, 2.)



KUVA 1. Bitumin tunkeuman mittaaminen (Blomberg 1990, 83)

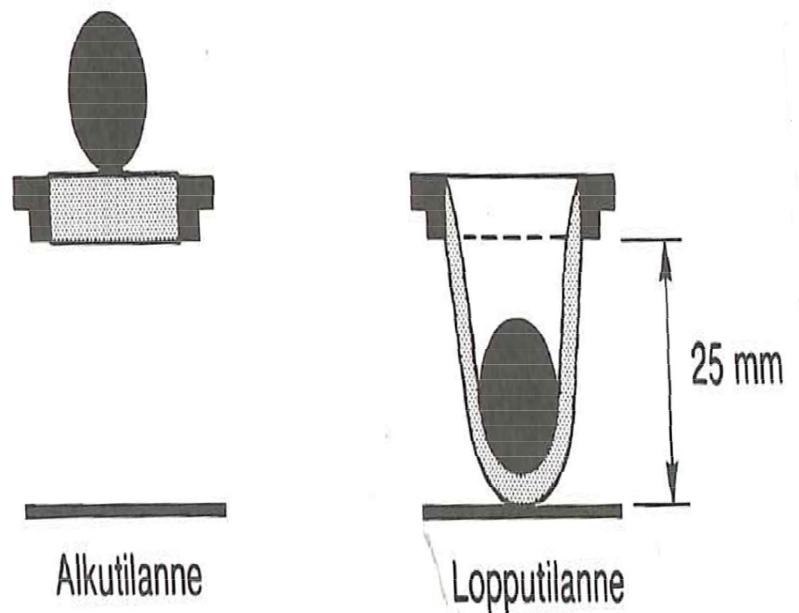
Tunkeuman kasvaessa bitumin työstettävyys ja pakkasenkesto paranevat, mutta samalla liikennesuorituksen kestäminen huononee (Tiehallinto 2002). Suomessa asfaltin kulutuskerrosten valmistukseen soveltuvat bitumiluokat ovat 35/50–160/220 sekä kumibitumit KB65 ja KB75 (PANK ry 2011, 48). Useimmiten kuitenkin käytetään bitumia 70/100.

3.1.3 Muita menetelmiä

Bitumille on tunkeuman lisäksi myös paljon muita tutkimusmenetelmiä. Tämän työn kannalta niistä tärkeimmät ovat fraassi eli murtumispiste, pehmenemispiste sekä viskositeetti. Jokainen näistä menetelmistä kuvaa omalla tavallaan bitumin kovuutta.

Bitumin pehmenemispisteellä kuvataan bitumin kovuutta ja sitkeyttä ja se mitataan standardin SFS-EN 1427 mukaisesti. Lämmitettäessä bitumi muuttuu

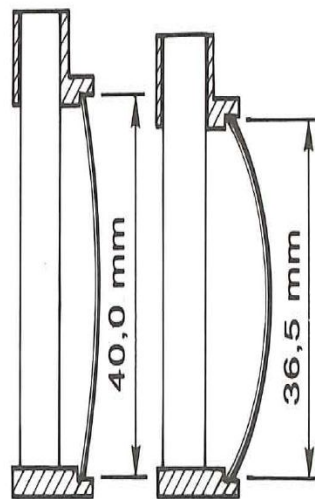
viskoosiksi nesteeksi ja alkaa valua, joten sillä ei ole terävää sulamispistettä. Pehmenemispiste määritetään tämän vuoksi siten, että kaksi kuulan kuormittamaa bitumirengasta asetetaan vesi- tai glyserolihauteeseen, jonka lämpötilaa nostetaan tasaisesti. Pehmenemispiste lämpötila saavutetaan, kun kuula on aiheuttanut bitumiin 25 mm suuruisen muodonmuutoksen. Kuvassa 2 on esitetty bitumin pehmenemispisteen mittaamisen alku- sekä lopputilanne. Pehmenemispistelämpötilassa bitumin tunkeuma on $800 \times 0,1$ mm ja viskositeetti $1,3 \times 10^6$ mm²/s. (PANK ry 1988, 3.) Pehmenemispiste on hyvä kuvaamaan deformaatioominaisuuksia kuumalla säällä, koska silloin teiden lämpötilat ovat hyvin lähellä bitumien pehmenemispistelämpötilaa (Nyberg 1988, 7).



KUVA 2. Bitumin pehmenemispisteen mittaaminen (Blomberg 1990, 90)

Fraass-murtumispiste mitataan standardin SFS-EN 12593 mukaisesti, ja se kuvaa bitumin pakkasenkestävyyttä. Pakkasenkestävyys on usein parempaa, mitä pehmeämpää bitumi on. Murtumispiste on lämpötila, jossa metallilevylle valettu bitumikerros ei kestä vakionopeudella muodostettua taivutusjännitystä.

Aiheutettava taivutusjännitys on esitetty kuvassa 3. Erityisesti kumibitumeilla on saavutettu hyviä murtumispistetuloksia. Menetelmä on kuitenkin melko huono kuvaamaan tiellä tapahtuvaa iskumurtoilmiötä, koska bitumiin kohdistuvat rasitukset ovat niin erilaisia. (Leinonen 1988, 6.)



KUVA 3. Fraass-murtumispistekokeessa aiheutettava taivutusjännitys (Blomberg 1990, 91)

Viskositeetti kuvaa bitumin virtausvastusta eli sisäistä kitkaa. Bitumin viskositeettia tutkitaan kahdella menetelmällä, jotka ovat kinemaattinen viskositeetti ja dynaaminen viskositeetti. Dynaaminen viskositeetti mitataan Suomessa standardin SFS-EN 12596 mukaisesti vakuumikapillaarimenetelmällä 60 °C:n lämpötilassa ja se kuvaa bitumin deformaatioherkkyyttä. Kinemaattinen viskositeetti puolestaan mitataan standardin SFS-EN 12595 mukaisesti 135 °C:n lämpötilassa lasikapillaarissa valuvasta bitumista. Kinemaattisella viskositeetilla selvitetään bitumille sopivaa sekoituslämpötilaa, eli se kuvaa bitumin työstettävyyttä. Erityisesti pehmeillä bitumeilla kinemaattinen viskositeetti antaa hyvän kuvan sekoituslämpötilasta, koska asfalttiaseman sekoituslämpötilat ovat hyvin lähellä kinemaattisen viskositeetin määrittäyslämpötilaa. (PANK ry 1988, 3-4.)

3.2 Bitumin vanheneminen

Bitumin vanheneminen tarkoittaa, että bitumin ominaisuudet heikkenevät ajan myötä. Vanheneminen johtuu pääosin bitumin hapettumisesta ja keveiden öljykomponenttien haihtumisesta (Niemi 1988, 2). Tärkeimmät hapettumiseen ja haihtumiseen vaikuttavat tekijät ovat lämpötila, sekoitusaika ja bitumikalvon paksuus kiven päällä (Read & Whiteoak 2003, 158).

Lämpötilaa pidetään usein vanhenemiseen eniten vaikuttavana tekijänä, koska lämpötilan ollessa yli 100 °C jo 10 °C:n lämpötilan nousu tuplaa hapettumisen määrän. Hapettumisen aiheuttaa bitumin reaktio ilman kanssa. Ilman happi reagoi bitumin komponenttien kanssa muuttaen bitumin kemiallista rakennetta. (Read & Whiteoak 2003, 158–160.) Bitumin keveiden komponenttien haihtuessa bitumin asfalteenipitoisuus kasvaa. Vanhetessaan bitumin pehmenemispiste nousee ja tunkeuma pienenee eli bitumi muuttuu kovemmaksi ja jäykemmäksi.

Bitumin vanheneminen on suurinta, kun bitumi on tuoretta. Vanheneminen alkaa jo bitumin ollessa varastointisäiliössä. Hyvien varastointimenetelmien ja lyhyiden varastointiaikojen ansiosta bitumin vanheneminen säiliössä ei kuitenkaan ole kovinkaan merkittävää (Nynäs AB 2012). Bitumin vanhenemista tapahtuu eniten asfalttimassan valmistuksen aikana, koska massan valmistuslämpötila on korkea

ja massaa joudutaan sekoittamaan koko ajan. Sekoittamisen takia bitumilla on erittäin suuri pinta-ala, joka pääsee kosketukseen ilman kanssa. Myös öljykomponenttien haihtuminen on erittäin suurta kuumasekoitusvaiheessa. Yleinen käsitys on, että bitumi kovenee massan valmistuksen ja päällystystyön aikana noin yhden kovuusluokan verran (PANK ry 2011, 29).

Bitumin vanheneminen hidastuu huomattavasti sen ikääntyessä. Valmiissa päällysteessä bitumin vanheneminen riippuu huomattavasti päällysteen tyhjättilasta. (Ehrola & Liimatta 1999, 15.) Jos tyhjättila on suuri, enemmän ilmaa pääsee kosketuksiin bitumin kanssa ja näin ollen vanheneminen nopeutuu. Hapettuminen ei usein kuitenkaan yllä asfaltin pintakerroksia syvemmälle, vaikka tyhjättila olisi kohtalaisen suuri. Myös auringon UV-säteily vaikuttaa bitumiin, koska bitumi on orgaanista ainetta. Bitumin vanheneminen on myös suhteessa nopeampaa, mitä vähemmän bitumia päällyste sisältää, koska ilman kanssa kosketuksissa oleva pinta-ala on tällöin suhteessa suurempi (Niemi 1988, 4). Valmiin päällysteen vanheneminen on kuitenkin huomattavasti hitaampaa kuin asfalttimassan valmistuksesta aiheutuva vanheneminen (Ehrola & Liimatta 1999, 15). Pitkän ajan kuluessa päällyste vanhenee kuitenkin noin 1 - 2 bitumiluokkaa (Laitinen 2013).

3.2.1 Vanhenemisen merkitys

Bitumin vanheneminen aiheuttaa päällysteen jäykistymistä. Jäykistyminen ei sinällään ole huono asia, koska tällöin päällysteen lujuus kasvaa ja se kestää paremmin liikenteen aiheuttamaa rasitusta. Jäykistymisestä aiheutuu kuitenkin se huono puoli, että kovaan bitumiin muodostuu hyvin herkästi halkeamia. Halkeamat edesauttavat päällysteen rikkoutumista, koska vesi ja jää pääsevät tunkeutumaan halkeamiin. (Niemi 1988, 4 - 5.)

Päällystevaurioita on 2000-luvulla esiintynyt melko paljon. Syitä vaurioiden syntyyn on monia, mutta osa päällystevaurioista johtui todennäköisesti vääränlaisen lisäbitumin käytöstä kierrätysasfalttimassoissa. Lisäbitumin valinnassa ei otettu huomioon, että asfalttirouheen bitumi on erittäin kovaa. Liian kovan lisäbitumivalinnan takia päällysteen bitumi jäi liian kovaksi ja päällysteen

purkautumista alkoi esiintyä jo muutamassa vuodessa. Nykyään lisäbitumina osataan käyttää tarpeeksi pehmeää bitumia, joten vanhenemisesta johtuvat tievauriot oletettavasti vähentyvät tulevaisuudessa. Tällä hetkellä päällysteen vaurioitumista aiheuttaa eniten kuluminen ja deformatuminen. Ainoastaan vähäliikenteisillä teillä bitumin vanheneminen saattaa olla merkittävä vaurioitumista aiheuttava tekijä, koska kulumista ja deformatumista ei juuri tapahdu. (Laitinen 2013.) 2000-luvun päällystevaurioihin ei varmasti ole yksittäistä aiheuttajaa, vaan vauriot ovat monen asian summa. Mahdollisia aiheuttajia voivat olla

- ohuet päällystekerrokset
- bitumin laadun muutos
- työvirheet
- lentotuhkan käyttö
- liian kovat lisäbitumit
- alhaiset sideainepitoisuudet
- päällysteen korkeat tyhjätilat
- tien rakenteen muodonmuutokset.

3.2.2 Bitumin elvyttäminen

Bitumin elvyttämisellä tarkoitetaan vanhentuneen bitumin ominaisuuksien palauttamista. Elvyttämisen pääasiallinen tarkoitus on, että vanhentunut bitumi pehmennetään juoksevampaan muotoon, jolloin valmistettavan asfalttimassan työstettävyys paranee. Elvyttämiseen käytetään tuoretta bitumia, joka sekoittuu massan valmistuksen yhteydessä vanhentuneeseen bitumiin. Lopputuotteena valmistettavaan massa saadaan bitumilaatu, joka vastaa ominaisuuksiltaan tuoretta bitumia. (Laitinen 2014.)

Asfalttirouheiden bitumiluokka on usein 20/30 tai 35/50. Bitumin elpymiskyvyn ansiosta rouhetta sisältävän asfalttimassan bitumiluokka voidaan helposti nostaa esimerkiksi luokkaan 70/100, kun elvyttäjänä käytetään riittävän pehmeää bitumia. Kun asfalttirouhetta käytetään massan raaka-aineena, seosbitumin

tunkeuma ja lisäbitumin tarve lasketaan teoreettisesti päällysteen tyyppitestauksia varten.

Esimerkki 1

Paljonko lisäbitumia on käytettävä, jotta massan bitumipitoisuus on 5,5 %? Mikä on muodostuvan seosbitumin tunkeuma?

Massan tavoitesideainepitoisuus: 5,5 %

Lisäbitumi: 70/100

Rouhepitoisuus: 20 %

Rouheen bitumipitoisuus on 4,1 % ja bitumin tunkeuma $24 * 0,1$ mm

Kaavalla (1) lasketaan lisäbitumin tarve, joka on 5,0 %. Tällöin rouheen bitumin osuus seosbitumista on 9 % ja lisäbitumin osuus 91 %. Kaavalla (2) lasketaan massan bitumin tunkeuma, joka on $72 * 0,1$ mm. Kokemus on osoittanut, että kaava (1) antaa hieman liian korkean lisäbitumin tarpeen, joten massan toimivuus on syytä varmistaa tilavuussuhdekokeella tai tuotannon alussa asfalttiasemalla.

Puolestaan suoralla suhdeluvulla laskettu lisäbitumin tarve on aina hieman todellista alhaisempi, koska kaikkea asfalttirouheen sisältämää bitumia ei koskaan saada sekoittumaan tuoreeseen bitumiin (Brown 2013, 41).

Kierrätysasfalttimassan lisäbitumin tarve lasketaan kaavalla 1

$$SAP_L = (SAP_O - SAP_R * \frac{RC}{100}) * \frac{100}{100 - SAP_O} \quad (1)$$

missä

SAP_L sideaineen lisäystarve (massa-%) laskettuna kiviaineksen yhteisestä massasta

SAP_O tavoitesideainepitoisuus (massa-%)

SAP_R rouheen sideainepitoisuus (massa-%) ja

RC vanhan asfaltin osuus uusiomassassa (massa-%).

Kierrätysasfalttimassan bitumin tunkeuma lasketaan kaavalla 2

$$(a + b) \lg pen_{mix} = a \lg pen_1 + b \lg pen_2 \quad (2)$$

missä

pen_{mix} valmistettavan massan sideaineen laskennallinen tunkeuma,

pen_1 asfalttirouheen sideaineen tunkeuma,

pen_2 lisätyn sideaineen tunkeuma ja

a ja b asfalttirouheen sideaineen (a) ja lisätyn sideaineen (b) osuudet valmistettavassa asfalttimassassa.

Sarniassa tehtyjen tutkimusten mukaan rouheen bitumi ja lisäbitumi sekoittuvat keskenään hyvin eli rouhe ei käyttäydy kierrätysasfaltissa vain mustan kiven tavoin (Brown 2013, 1-2). Myös Nynäs AB:n ja Lemminkäinen Infran tekemän tutkimuksen mukaan rouheen bitumi ja lisäsideaine sekoittuvat keskenään massan valmistuksen yhteydessä. Tutkimuksessa vertailtiin tuoreen bitumin ja kierrätysasfalttimassan sideaineiden ominaisuuksia. Tutkimuksen mukaan kierrätysasfalttimassojen sideaine vastaa ominaisuuksiltaan saman bitumiluokan tuoretta sideainetta. (Blomberg 2013, 1 - 8.)

4 ASFALTTIMASSAN SUUNNITTELU

Asfalttimassan suunnittelu aloitetaan materiaalien ominaisuuksien tutkimisella. Tilaajan asettamien vaatimusten perusteella valitaan taloudellisimmat raaka-aineet päällysteen valmistamiseen. (Halttunen, Jämsä, Kollanen, Kurki, Laitinen, Peltonen, Saarela, Saarinen & Vuorinen 1993, 475.) Mikäli tilaaja ei ole asettanut toiminnallisille ominaisuuksille vaatimuksia, päällystäjän on asetettava ne itse asfalttinormien 2011 mukaisesti.

Asfalttimassa voidaan suunnitella joko kokemusperäisesti tai toiminnallisesti. Suunnittelutapa ja tutkittavat ominaisuudet valitaan massan käyttökohteen perusteella. Vähemmän vaativiin kohteisiin kuten vähäliikenteisille teille tai kevyen liikenteen väylille massa suunnitellaan kokemusperäisesti. Puolestaan vaativiin kohteisiin käytetään toiminnallista suunnittelua. (PANK ry 2011, 42.)

Kokemusperäinen suunnittelu tarkoittaa, että asfalttimassan toimivuus perustuu kokemukseen materiaalien ja massan toimivuudesta. Kokemusperäinen suunnittelu ei sisällä laboratoriokokeita, vaan sideainepitoisuus ja rakeisuuskäyrä lasketaan kokemuksen perusteella. Massan koostumus on kuitenkin testattava tuotantomassasta. (PANK ry 2011, 42–43.)

Toiminnallinen suunnittelu aloitetaan laskemalla alustava sideainepitoisuus ja rakeisuuskäyrä. Tämän jälkeen määritetään massan tilavuussuhteet. Tilavuussuhteiden määrittelyn tavoite on löytää massalle optimaalinen sideainepitoisuus ja rakeisuuskäyrä. Sopivan sideainepitoisuuden ja rakeisuuskäyrän löydyttyä tehdään mahdollisia toiminnallisia kokeita. Testattavat toiminnalliset ominaisuudet valitaan käyttökohteen vaatimusten perusteella. (Halttunen ym. 1993, 476.) Yleisimmin tutkittavia toiminnallisia ominaisuuksia ovat

- deformaatiokestävyys
- vedenkestävyys
- nastarengaskulumiskestävyys
- vedenläpäisevyys
- stabiliteetti (PANK ry 2011, 42).

4.1 Tilavuussuhteet

Tilavuussuhteiden määrittämisellä SFS-EN 12697-31 tutkitaan massan tiivistettävyyttä, eli tarkoituksena on löytää asfalttimassalle optimaalinen sideainepitoisuus. Tilavuussuhdekokeessa massan tiivistäminen tapahtuu sullovalla kiertoliikkeellä. Kuvassa 4 on laitteisto, jolla tilavuussuhteet voidaan määrittää. Tilavuussuhteiden määrittämiseen kuuluu tyhjätilan, täyttöasteen ja kiviaineksen tyhjätilan määrittäminen. Kiviaineksen tyhjätilalla tarkoitetaan tilavuutta, joka koostuu bitumista ja päällysteen tyhjätilasta. Täyttöasteella puolestaan tarkoitetaan bitumin osuutta kiviaineksen tyhjätilasta. Optimaalista sideainepitoisuutta ei voida määrittää pelkästään päällysteen tyhjätilan mukaan. (Laitinen 2014.)



KUVA 4. Kiertotiivistin (Laitinen 2014)

4.2 Deformaatiokestävyys

Päällysteen deformaatiokestävyyttä tutkitaan jaksollisella virumiskokeella SFS-EN 12697-25A. Virumiskokeessa näytekappaleeseen aiheutetaan jaksottaista rasitusta, joka aiheuttaa näytekappaleeseen muodonmuutoksen. Osa muodonmuutoksista on palautuvia ja osa pysyviä. Päällysteen deformaatio tarkoittaa muodonmuutosta, jossa päällysteen massa siirtyy ajourien sivuille. Deformaatiossa päällysteen kokonaismassa pysyy siis ennallaan. Päällysteen deformatumiseen vaikuttavat erityisesti päällysteen rakeisuus, kiviaineksen raemuoto, bitumipitoisuus, bitumin kovuus, ajonopeus ja raskaan liikenteen määrä. Lisäksi päällysteen lämpötilalla on olennainen vaikutus deformaatioon. Lämpötilan noustessa deformaation riski kasvaa, koska sideaine muuttuu pehmeämmäksi. (Nyberg 1988, 1 - 3, 6.) Deformaatiokestävyyden kannalta kovat bitumit ovat parempia kuin pehmeät, koska ne kestävät paremmin korkeita lämpötiloja (Laitinen 2014).

Rakeisuuskäyrä ja raemuoto ovat usein deformaatioon eniten vaikuttavat tekijät. Maksimiraekoon kasvaessa päällysteen deformaatiokestävyys yleensä paranee (Nyberg 1988, 9). Esimerkiksi AB 22:lla saavutetaan parempi deformaatiokestävyys kuin AB 16:lla. Rakeisuuskäyrän ollessa optimaalinen AB 22:lla päästään jopa parempaan deformaatiokestävyyteen kuin saman maksimiraekoon SMA:lla. (Laitinen 2014.) Kiviaineksen särmikäs muoto parantaa myös deformaatiokestävyyttä, koska rasituksen syntyessä kiviaineksen särmät takertuvat toisiinsa ja tukevat päällysteen rakennetta. Pyöreät kivet pääsevät helpommin valumaan toistensa ohi päällysteessä, jolloin tukevaa rakennetta ei synny. (Nyberg 1988, 9.) Toisen litteyslukuluokan kiviainekset ovat usein parhaita deformaatiokestävän päällysteen rakentamiseen (Laitinen 2014). Kiviaineksen särmikkydestä ei kuitenkaan ole hyötyä, mikäli kiviaines on lujuudeltaan liian heikkoa. Heikko kiviaines hajoaa päällysteen tiivistämisen aikana, jolloin deformaatoriski kasvaa moninkertaiseksi. (Nyberg 1988, 9.)

Sideaineen kovuudella ja laadulla on huomattava vaikutus päällysteen deformaatiokestävyyteen. Kovat bitumit lisäävät päällysteen jäykkyyttä, jolloin päällysteen deformaatioherkkyys pienenee. Suhteellisen kovien bitumien käytöllä saavutetaan siis pehmeitä bitumeja parempi deformaatiokestävyys. Lisäksi polymeerimodifioituilla bitumeilla saavutetaan vieläkin parempia deformaatiokestävyytuloksia. (Tiehallinto 2000, 10.) Erityisesti kuumalla säällä kumibitumit parantavat deformaatiokestävyyttä, koska niillä on korkeampi pehmenemispiste kuin tavallisilla tiebitumeilla (PANK ry 2011, 31–32, 34). Myös päällysteen bitumipitoisuudella on havaittu olevan vaikutusta deformaatiokestävyyteen. Jaksollisella virumiskokeella tehdyt tutkimukset osoittavat, että alhaisempi bitumipitoisuus parantaa päällysteen deformaatiokestävyyttä. (Tiehallinto 2000, 10.) Alhaisempi bitumipitoisuus kuitenkin kasvattaa päällysteen tyhjätilaa, joten samalla kun deformaatiokestävyys paranee, päällysteen säänkestävyys heikkenee (Laitinen 2014).

4.3 Vedenkestävyys

Vedenkestävyyskokeella SFS-EN 12697–12 tutkitaan sideaineen ja kiviaineksen välistä tartuntakykyä. AB- ja SMA-massojen vedenkestävyys osoitetaan yleensä suunniteltavan massan raaka-aineista valmistetulla AA11-massalla, jolle vedenkestävyyskoe tehdään. (PANK ry 2011, 81.) Tarttuvuusluvun vaatimus on tällöin ≥ 70 %. Mikäli vedenkestävyyskoe tehdään käyttämällä suunniteltavaa AB- tai SMA-massaa, on tarttuvuusluvun vaatimus ≥ 80 %. (PANK ry 2013.)

Henna-Mari Katajamäki (2013, 40) havaitsi omassa tutkimuksessaan, että rouheen lisääminen parantaa päällysteen vedenkestävyyttä. Tutkimuksessa valmistettiin neljä asfalttimassaa, joiden sideainepitoisuus, sideaineen tunkeuma ja rakeisuuskäyrä olivat samanlaiset. Ainoastaan asfalttirouheen määrä vaihteli eri massojen välillä. (Katajamäki 2013, liite 4/1–4/4.) Vedenkestävyyden paranemista saattaa selittää se, että osa rouheen kivistä on jo valmiiksi tarttunut kiinni bitumiin, jolloin kiviaineksen ja bitumin tarttuvuus olisi parempaa. Bitumin ja kiviaineksen väliseen tartuntaan vaikuttaa oleellisesti kiven mineraloginen koostumus (Laitinen 2014).

5 LABORATORIOKOKKEET

Rouheen vaikutusta asfalttimassan bitumiin tutkittiin bitumin tunkeuman ja fraass-murtumispisteen avulla. Tavoitteena oli myös selvittää, toimiiko laboratorion käyttämä tunkeumalaskelma oikein. Massanäytteitä otettiin 15 kappaletta Oulun sekä Sammonmäen asfalttiasemilta. Sideaine eristettiin massanäytteistä mentelmällä SFS-EN 58. Uusien tutkimusten lisäksi vanhoilla asfalttirouheiden laadunvalvontatuloksilla selvitettiin, onko rouheen laatu muuttunut viime vuosien aikana.

Laboratoriossa tehtiin myös viisi asfalttimassan suunnitteluun liittyvää koetta. Ensimmäisellä kokeella selvitettiin tapaa, jolla kierrätysasfalttimassan raaka-aineet tulisi lämmittää laboratoriossa ennen koemassan tekoa. Koe tehtiin, koska asfalttiasemalla raaka-aineet lämmitetään eri tavalla kuin laboratoriossa ja haluttiin selvittää, vaikuttaako lämmitystapa valmistettavan massan tiivistettävyyteen. Lisäksi laboratoriossa on ilmennyt ongelmia lämmityksessä, jos asfalttirouhetta on jouduttu pitämään liian kauan kuumassa uunissa.

Toisella kokeella selvitettiin asfalttirouheen vaikutusta päällysteen deformaatiokestävyyteen. Koe tehtiin, koska haluttiin selvittää, onko asfalttirouheen käytöllä vaikutusta päällysteen deformaatiokestävyyteen. Koetta varten tehtiin kaksi massaa, jotka eivät sisältäneet rouhetta ja kaksi massaa, jotka sisälsivät asfalttirouhetta.

Lisäksi tehtiin tilavuussuhdekoe, jolla selvitettiin massan ylikuumentumisen vaikutusta massan tiivistettävyyteen sekä massan bitumin tunkeumaan. Asfalttiasemilla on välillä tapana ylikuumentaa massaa, koska on kehittynyt mielikuva, että kuumempaa massaa on helpompi työstää. Jossain määrin tämä mielikuva pitääkin paikkansa. Kokeella haluttiin selvittää, vaikuttaako ylikuumentaminen negatiivisesti massan pitkäaikaiskestävyyteen. Ylikuumentamiskokeen tuloksista päätellen massa vanheni hyvin nopeasti laboratorion uunissa, joten päätettiin tehdä vielä yksi lisäkoee, jolla tutkittiin, kuinka nopeasti massa saadaan uunissa tiivistyslämpötilaan ja kuinka nopeasti massa vanhenee.

Rouheen kiertämistä asfalttimassoissa tutkittiin tunkeuma- ja tilavuussuhdekokeella. Koe tehtiin, koska on oletettavissa, että jo lähitulevaisuudessa asfalttirouheet ovat massaa, joissa on jo alun perin käytetty asfalttirouhetta. Kokeella selvitettiin rouheen bitumin elpymiskykyä, kun rouheena käytetään rouhetta sisältävää asfalttimassaa.

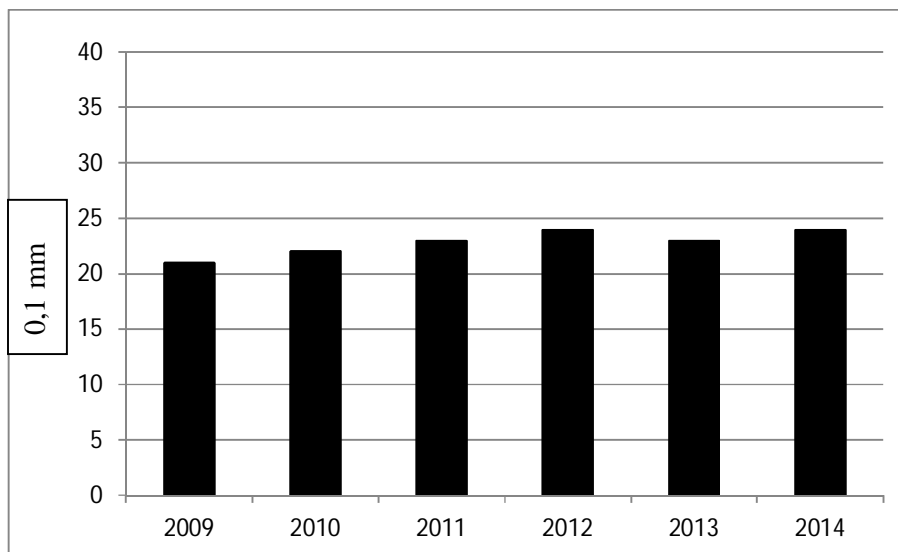
5.1 Menettely ja tulokset

5.1.1 Laadunvalvontanäytteiden menettely

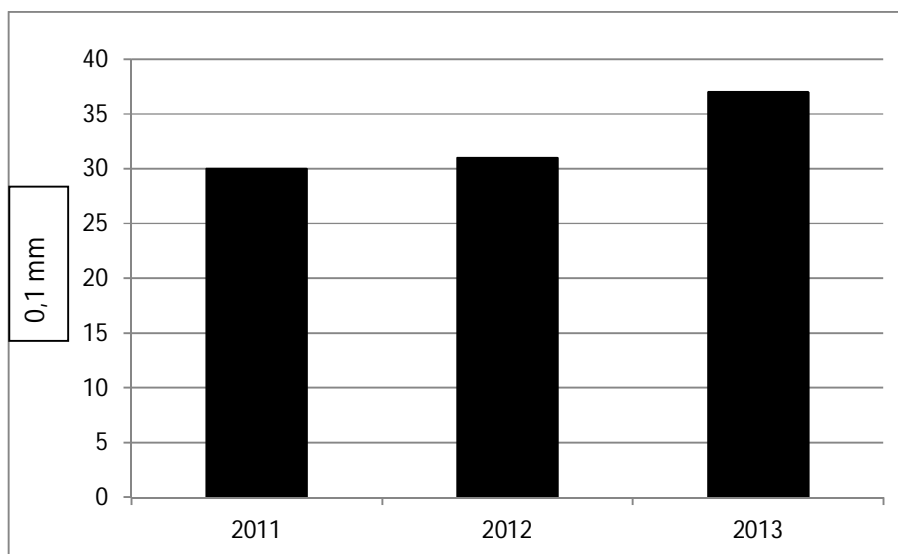
Laadunvalvontanäytteiden tuloksia koottiin vuodesta 2009 lähtien. Tulosten analysoinnissa Pohjois- ja Etelä-Suomi eroteltiin keskenään, koska Pohjois-Suomessa päällysteisiin käytetään pehmeämpää bitumia ja voidaan olettaa, että asfalttirouheen bitumi on silloin myös pehmeämpää. Oulun- ja Lapin lääni ovat pääasiassa alueet, joissa käytetään pehmeämpää bitumia, joten asfalttiasemat jaettiin Pohjois- ja Etelä-Suomeen siten, että Vaasan ja Joensuun asemat olivat pohjoisimmat Etelä-Suomeen kuuluvat asemat. Tuloksiin koottiin ainoastaan eri murskauserien tulosten keskiarvot, mutta jokaisesta murskauserästä otettiin huomioon myös näytekohtaisia hajonnat sekä näytemäärät. Kerätyt tiedot olivat sideainepitoisuus, tarkkailuseulojen läpäisevyydet, bitumin tunkeuma sekä kiviaineksen nastarengaskulutuskestävyys.

5.1.2 Laadunvalvontanäytteiden tulokset

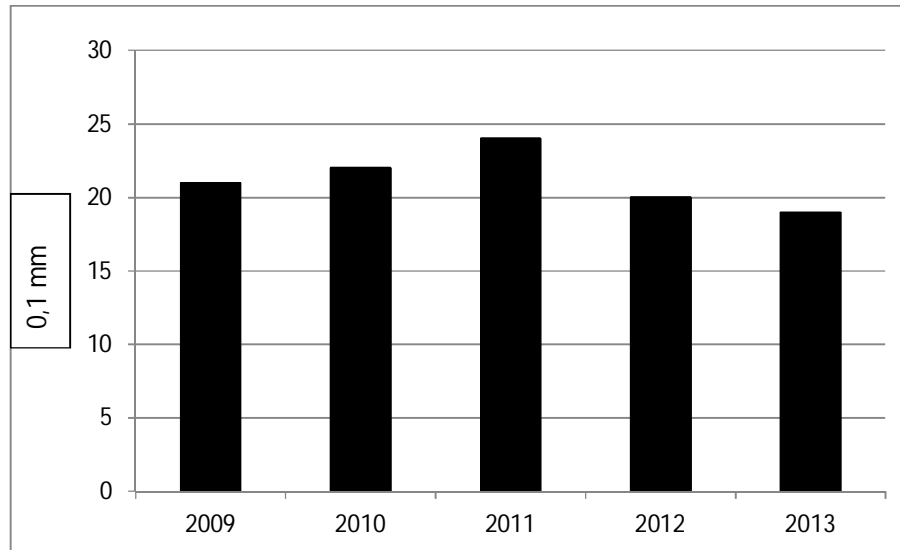
Kuvioissa 1, 2 ja 3 on esitetty asfalttirouheiden tunkeumat vuosittain. Kuvioista 1 ja 2 havaitaan, että asfalttirouheen tunkeuma ei ole oleellisesti muuttunut viime vuosien aikana. Lisäksi olettamus siitä, että pohjoisen asfalttirouheiden bitumi on pehmeämpää kuin Etelä-Suomessa, näyttäisi pitävän hyvin paikkansa. Kuviossa 3 on esitetty Sammonmäen ja Konalan asfalttirouheiden tunkeuman vuosittaiset keskiarvot. Kuvio 3 osoittaa, että vuosittainen vaihtelu asfalttirouheen bitumin tunkeumassa on vähäistä myös paikkakuntaakohtaisesti tarkasteltuna.



KUVIO 1. Etelä-Suomen rouhenäytteiden tunkeuman vuosittaiset keskiarvot



KUVIO 2. Pohjois-Suomen rouhenäytteiden tunkeuman vuosittaiset keskiarvot



KUVIO 3. Seutulan asfalttirouheen tunkeuman vuosittaiset keskiarvot

Vaihtelut asfalttirouheiden 0/11 ja 0/16 rakeisuuksien keskiarvoissa ovat vuosittain tarkasteltuna hyvin vähäisiä. 0/11 -rouheen näytekohtaiset vaihtelut ovat kuitenkin suurempia kuin rouheen 0/16. Rouhenäytteet otetaan murskauksen yhteydessä, joten 0/11 -rouheen murskauksessa täytyy tapahtua jotain erilaista, mikä aiheuttaa laatuvariaatioita. Asfalttirouheen kiviainekselle tehdyt nastarengaskulumiskestävyyskokeet osoittavat, että kiviaineksen kestävyys ei huonone päällysteessä uuteen kiviainekseen verrattuna.

5.1.3 Massanäytteiden menettely

Massanäytteet otettiin asfalttiasemien tuotantomassasta ja pakattiin mahdollisimman tiiviisti, jotta ilma ei pääsisi vanhentamaan näytettä kuljetuksen aikana. Laboratoriossa massanäytteitä pidettiin noin tunnin ajan 120 °C:n lämpöisessä uunissa, minkä jälkeen näytteet murusteltiin pöydälle jäähtymään. Jäähdyttyään näytteet upotettiin vuorokaudeksi metyleenikloridia sisältävään pulloon. Metyleenikloridiin liuennut bitumi otettiin talteen sentrifugin avulla ja jätettiin haihtumaan noin vuorokaudeksi metalliastiaan. Loput metyleenikloridista

haihdutettiin pois haihduttimella. Haihdutuksen aikana bitumin lämpötila kohoaa noin 175 °C:seen. Haihdutuksen jälkeen bitumi valettiin pyöreään folioastiaan ja tunkeuma mitattiin standardin SFS-EN 1426 mukaisesti. (Kiviniemi 2014.)

Näytteen valmistelusta aiheutuva vanheneminen selvitettiin mittaamalla bitumin tunkeuma yhtä kovasta bitumista, mitä massanäytteet teoreettisesti sisälsivät.

Mittauksen jälkeen tuoreelle bitumille tehtiin samat toimenpiteet kuin massanäytteille. Lopuksi tunkeuma mitattiin uudelleen, jolloin saatiin selville, kuinka paljon bitumin tunkeuma muuttuu näytteiden valmistelun aikana.

Fraass-murtumispiste mitattiin noin viisi kuukautta tunkeuman jälkeen.

Mittauksissa käytettiin samaa bituminäytettä kuin tunkeuman mittauksessa.

Näytteet säilytettiin pyöreissä folioastioissa, jotka oli peitetty alumiinifoliolla.

Murtumispisteen mittauksessa näytettä joudutaan lämmittämään, jotta se saadaan valettua metallilevylle. Lämmityksen ja viiden kuukauden odotuksen takia voidaan olettaa, että bitumi on vanhentunut vielä hieman lisää siitä, mitä se oli tunkeuman mittauksen yhteydessä. Muutamit murtumispistenäytteet tutkittiin heti tunkeuman mittaamisen jälkeen.

5.1.4 Massanäytteiden tulokset

Taulukossa 2 on esitetty Sammonmäen asfalttiasemalta otettujen massanäytteiden tulokset. Kohdassa teoreettinen tunkeuma on esitetty tunkeuman laskennallinen arvo ja tunkeuman teoreettinen arvo massan valmistuksen jälkeen. Teoreettinen tunkeuma on suurempi kuin mitattu tunkeuma, koska tunkeumalaskelma ei ota huomioon massan valmistuksesta aiheutuvaa bitumin vanhenemista eikä näytteen valmistelusta aiheutuvaa vanhenemista. Näytteen tunkeuma pienenee näytteen valmistelun aikana $3-10 \cdot 0,1$ mm. Tulosten perusteella tunkeumalaskelma näyttäisi toimivan erinomaisesti, koska mitatut tunkeumatulokset ovat noin yhtä luokkaa pienempiä kuin teoreettiset tunkeumat. Oulun asfalttiasemalta otettujen massanäytteiden tulokset on esitetty taulukossa 3. Tulosten hajonta on melko suurta, joten yhden tunkeuman määrittäminen ei välttämättä kerro totuutta massan sideaineen kovuudesta.

Fraass-murtumispistetulokset viittaavat siihen, että sideaineen pakkasenkestävyys ei huonone, vaikka asfalttimassa sisältää asfalttirouhetta. Pakkasenkestävyydet ovat noin 5 °C vaatimusten minimirajaa parempia. Vaatimukset on esitetty liitteessä 2.

TAULUKKO 2. Sammonmäen massanäytteiden tulokset

| Massa | Rouhepitoisuus [%] | Teoreettinen tunkeuma [0,1 mm] | | Mitattu tunkeuma [0,1 mm] | Fraass- murtumispiste [°C] |
|--------|-----------------------|--------------------------------------|----|---------------------------------|----------------------------------|
| AB 11 | 50 | 81 | 60 | 50 | - |
| AB 11 | 50 | 81 | 60 | 44 | - |
| AB 11 | 50 | 81 | 60 | 49 | - |
| AB 8 | 50 | 84 | 60 | 52 | -12 |
| SMA 16 | 15 | 54 | 40 | 35 | -11 |
| AB 22 | 65 | 46 | 35 | 35 | -10 |
| AB 22 | 50 | 83 | 60 | 36 | - |
| AB 16 | 65 | 46 | 35 | 37 | -10 |
| AB 16 | 50 | 80 | 60 | 42 | - |

TAULUKKO 3. Oulun massanäytteiden tulokset

| Massa | Rouhepitoisuus [%] | Teoreettinen tunkeuma [0,1 mm] | | Mitattu tunkeuma [0,1 mm] | Fraass- murtumispiste [°C] |
|-------|-----------------------|--------------------------------------|----|---------------------------------|----------------------------------|
| AB 11 | 35 | 104 | 75 | 46 | - |
| AB 11 | 35 | 104 | 75 | 56 | -15 |
| AB 11 | 35 | 104 | 75 | 70 | -16 |
| AB 16 | 35 | 113 | 80 | 72 | -15 |
| AB 16 | 35 | 113 | 80 | 70 | - |
| AB 16 | 35 | 113 | 80 | 58 | - |

5.1.5 Massan suunnittelukokeen menettely

Kierrätysasfalttimassojen valmistus on tehty laboratoriossa aina siten, että kaikki raaka-aineet on lämmitetty samaan lämpötilaan ennen massan valmistusta. Tässä kokeessa pyrittiin toimimaan samalla tavoin kuin asfalttiasemalla, eli asfalttirouhe, kiviaines sekä bitumi syötettiin sekoittajaan eri lämpöisinä.

Kokeessa käytetty AB 16 -massa valmistettiin kalliomurskeista 0/5, 5/11 ja 11/25, asfalttirouheesta 0/16 ja bitumista 100/150. Asfalttirouhe lämmitettiin 130 °C:n, bitumi 170 °C:n ja kiviaines 190 °C:n lämpötilaan. Materiaaleja lämmitettiin uuneissa 4 tuntia ennen massan valmistusta. Valmis asfalttimassa oli noin tunnin ajan 160 asteisessa uunissa ennen tilavuussuhteiden määrittämistä. Kokeella selvitettiin, eroavatko eri toimintamalleilla tehtyjen tilavuussuhdekokeiden tulokset toisistaan ja onko vanhaa käytäntöä syytä muuttaa. Tilavuussuhteiden lisäksi määritettiin myös sideaineen tunkeuma. Tässä kokeessa käytetty

asfalttimassa on identtinen ylikuumenemiskokeessa käytetyn massan kanssa, joten vertailukohtana käytettiin ylikuumenemiskokeessa valmistettua normaalisti lämmitettyä massaa. Mikäli uusi menettely havaittaisiin paremmaksi, olisi eri rouhepitoisuuksille asetettava eri lämpötilat, koska pieni kiviainemäärä ei enää riittäisi lämmittämään suurta rouhemäärää riittävän kuumaksi.

5.1.6 Massan suunnittelukokeen tulokset

Kokeessa valmistetun massan bitumin tunkeumaksi mitattiin $26 \pm 0,1$ mm ja ylikuumenemiskokeessa normaalisti lämmitetyn massan bitumin tunkeumaksi $21 \pm 0,1$ mm. Ylikuumenemiskokeessa määritetyt tilavuussuhteet on esitetty taulukossa 7 ja suunnittelukokeessa määritetyt tilavuussuhteet taulukossa 4. Suunnittelukokeessa valmistettu massa tiivistyi huonosti ja tyhjätilat jäivät huomattavasti korkeammiksi kuin ylikuumenemiskokeen normaalisti lämmitetyllä massalla.

Tunkeumatulosten perusteella näyttäisi, että 190 °C :ssa lämmitetty kiviaines ja 160 °C :ssa lämmitetty bitumi eivät riittäneet lämmittämään 130 °C :ssa lämmitettyä asfalttirouhetta, koska suunnittelukokeen sideaineen tunkeuma on hieman korkeampi kuin ylikuumenemiskokeen normaalisti lämmitetyllä massalla. Suunnittelukokeen massa ei siis ole vanhentunut yhtä paljon. Asfalttirouheen sideaine ei pehmennyt riittävästi sekoittuakseen lisäbitumin kanssa, vaan jäi ainoastaan rouheen kiviaineksen ympärille, jolloin näytekappaleiden tyhjätilat jäivät suuriksi. Laboratoriomenettelyä ei siis voida muuttaa samanlaiseksi kuin asfalttiasemalla.

TAULUKKO 4. Massan suunnittelukokeen tilavuussuhteet

| Näytekappale | Täyttöaste VFB [til.-%] | Tyhjätila V [til.-%] | Kiviaineksen tyhjätila VMA [til.-%] |
|--------------|-------------------------------|----------------------------|--|
| 1. | 79,7 | 3,0 | 14,6 |
| 2. | 77,6 | 3,4 | 14,9 |
| 3. | 78,9 | 3,1 | 14,7 |

5.1.7 Deformaatiokestävyyskokeen menettely

Rouheen vaikutusta päällysteen deformaatiokestävyyteen tutkittiin jaksollisella virumiskokeella. Jaksollinen virumiskoe tehtiin neljälle eri päällysteelle siten, että kahdessa päällysteessä käytettiin asfalttirouhetta ja kahdessa ei. Ensimmäiset kaksi päällystettä olivat AB 16 -päällysteitä, jotka valmistettiin Sammonmäen kalliomurskeesta 0/16. Toinen päällysteistä sisälsi 45 % asfalttirouhetta ja toinen ei yhtään. Toiset kaksi päällystettä olivat kalliomurskeista 0/5, 5/11 ja 11/25 valmistettuja ABK 22 -päällysteitä, joista toinen sisälsi asfalttirouhetta 40 % ja toinen ei yhtään. ABK -päällysteet olivat keskenään samanlaiset sideaineen teoreettiselta tunkeumaltaan, sideainepitoisuudeltaan ja rakeisuuskäyrältään, kuten myös AB-päällysteet. Näytekappaleet tehtiin valmistamalla kaikista massoista asfalttilaatat. Kaikista laatoista porattiin viisi näytekappaletta, jotka sahattiin 60 mm:n korkuiseksi. Tämän jälkeen näytekappaleista määritettiin tyhjätilat. Jaksollinen virumiskoe tehtiin 40 °C:n lämpötilassa.

5.1.8 Deformaatiokestävyyskokeen tulokset

AB 16 -päällysteen deformaatiokestävyystulokset on esitetty taulukossa 5 ja ABK 22 -päällysteen tulokset taulukossa 6. Tulosten perusteella näyttäisi, että asfalttirouhe ei ainakaan huononna päällysteen deformaatiokestävyyttä. Mikäli rouhetta sisältäneen AB16-päällysteen tuloksista jätetään huomiotta yksi poikkeava tulos, ovat pysyvät muodonmuutokset samat molempien päällysteiden välillä. ABK22-päällysteen osalta näyttäisi kuitenkin siltä, että asfalttirouhe parantaa deformaatiokestävyyttä. Täyttä varmuutta asiasta on kuitenkin mahdotonta sanoa vain yhden kokeen perusteella, etenkin kun AB16-päällysteen deformaatiokestävyyksissä ei ollut eroa.

Tässä kokeessa sideainepitoisuudet, sideaineen kovuudet ja rakeisuuskäyrät on suunniteltu yhteneviksi molempien päällysteiden välille, joten todellisuudessa kierrätysasfalttipäällysteen ja puhtaan asfalttipäällysteen deformaatiokestävyyden välillä voi olla suurikin ero. Usein asfalttirouhe hienontaa valmistettavan päällysteen rakeisuuskäyrää ja sitä kautta heikentää sen deformaatiokestävyyttä. Suurilla rouhepitoisuuksilla rakeisuuskäyrä on siis aina syytä korjata karkealla lajikkeella, jotta päällysteen deformaatiokestävyys pysyy hyvänä. Kokeen tulosten perusteella kierrätysasfalttipäällysteillä saavutetaan vähintään yhtä hyvä deformaatiokestävyys kuin puhtailla asfalttipäällysteillä, jos rouheen vaikutukset päällysteeseen otetaan huomioon oikealla tavalla.

TAULUKKO 5. AB16-päällysteen jaksollisen virumiskokeen tulokset

| Näytekappale | Rouhepitoisuus [%] | Tyhjätila [%] | Pysyvä muodonmuutos [%] |
|------------------|-----------------------|------------------|-------------------------------|
| 1. | 0 | 0,2 | 1,7 |
| 2. | 0 | 0,5 | 1,5 |
| 3. | 0 | 0,6 | 2,1 |
| 4. | 0 | 0,7 | 1,5 |
| 5. | 0 | 0,3 | 1,1 |
| Keskiarvo | 0 | 0,5 | 1,6 |
| 1. | 45 | 0,7 | 2,5 |
| 2. | 45 | 0,2 | 1,8 |
| 3. | 45 | 0,7 | 1,4 |
| 4. | 45 | 0,0 | 1,8 |
| 5. | 45 | 0,7 | 1,6 |
| Keskiarvo | 45 | 0,5 | 1,8 |

TAULUKKO 6. ABK22-päällysteen jaksollisen virumiskokeen tulokset

| Näytekappale | Rouhepitoisuus [%] | Tyhjätila [%] | Pysyvä muodonmuutos [%] |
|------------------|-----------------------|------------------|-------------------------------|
| 1. | 0 | 2,9 | 1,4 |
| 2. | 0 | 3,9 | 1,3 |
| 3. | 0 | 4,0 | 1,2 |
| 4. | 0 | 4,8 | 1,2 |
| 5. | 0 | 4,6 | 1,4 |
| Keskiarvo | 0 | 4,0 | 1,3 |
| 1. | 40 | 2,8 | 0,9 |
| 2. | 40 | 4,8 | 1,1 |
| 3. | 40 | 5,7 | 0,9 |
| 4. | 40 | 4,8 | 0,8 |
| 5. | 40 | 3,6 | 0,9 |
| Keskiarvo | 40 | 4,3 | 0,9 |

5.1.9 Ylikuumenemiskokeen menettely

Asfalttimassan ylikuumenemistä tutkittiin tilavuussuhdekokeella. Kokeessa käytetty massa sisälsi kalliomurskeita 0/5, 5/11, 11/25, 35 % asfalttirouhetta 0/16 sekä lisäbitumia 100/150. Kokeessa tehdystä massasta osa lämmitettiin

normaalisti ja osa ylikuumennettiin ennen tilavuussuhteiden määrittämistä. Massasta valmistetut näytekappaleet valmistettiin kiertotiivistimellä. Kaksi ensimmäistä kappaletta tehtiin normaalisti lämmitetystä massasta 160 °C:n lämpötilassa. Seuraavat näytekappaleet tehtiin ylikuumennetusta massasta. Ensimmäinen kappale tehtiin 190 °C:n lämpöisestä massasta ja viimeinen jälleen 160 °C:n lämpöisestä massasta. Taulukossa 7 on esitetty kokeessa käytetyn menettelyn lämpötilat sekä lämmitysajat. Bitumin tunkeuma määritettiin lisäbitumin 100/150 lisäksi myös normaalisti lämmitetystä massasta sekä ylikuumennetusta massasta.

TAULUKKO 7. Massan ylikuumenemiskokeen menettely

| Massa | Normaalisti lämmitetty massa | Ylikuumennettu massa |
|--|------------------------------|----------------------|
| Aika 170 °C:ssa uunissa (materiaalit) | 4,5 h | 4,5 h |
| Sekoitus aika | 4 min 20 s | 4 min 20 s |
| Sekoituslämpötila | 160 °C | 160 °C |
| Aika 160 °C:ssa uunissa | 1 h 15 min | 1 h 25 min |
| Aika 190 °C:ssa uunissa | - | 1 h 40 min |
| Jäähdytys aika 160 °C:ssa uunissa | - | 45 min |

5.1.10 Ylikuumenemiskokeen tulokset

Massasta valmistettujen näytekappaleiden tilavuussuhteet on esitetty taulukossa 8.

Tulosten perusteella ylikuumentunut massa tiivistyy vain hieman huonommin kuin normaalisti lämmitetty massa. Todellisuudessa ylikuumentamisella voi kuitenkin olla suurempi vaikutus massan tiivistettävyyteen, koska tilavuussuhteiden määrittämisessä käytettävä kiertotiivistin on todella voimakas. Vähäinen bitumin koveneminen ei siis vaikuta tiivistettävyyteen, kun tiivistys tehdään kiertotiivistimellä.

Kokeeseen käytetyn asfalttirouheen bitumin tunkeuma oli $23 \cdot 0,1$ mm ja lisäbitumin 100/150 tunkeuma oli $98 \cdot 0,1$ mm. Normaalisti lämmitetyn massan bitumin tunkeumaksi saatiin $21 \cdot 0,1$ mm ja ylikuumennetun massan $10 \cdot 0,1$ mm. Vaikka ylikuumentaminen ei juuri huonontanut massan tiivistettävyyttä, huononee päällysteen pitkäaikaiskestävyys huomattavasti, koska sideaine vanhenee ylikuumennuksen aikana todella merkittävästi. Kaavalla 2 laskettuna massan laskennallisen tunkeuman olisi pitänyt olla $68 \cdot 0,1$ mm. Massan valmistuksen jälkeen normaalisti lämmitetyn massan tunkeumaksi olisi siis pitänyt tulla noin $40 \cdot 0,1$ mm, kun huomioon otetaan massan valmistuksesta aiheutuva vanheneminen. Massan bitumi vanhenee laboratoriossa siis huomattavasti jo ennen tilavuussuhteiden määrittämistä. Asfalttiasemilla vanheneminen sekoituksen aikana ei ole yhtä suurta, koska sekoitusaika on noin neljä kertaa lyhempi kuin laboratoriossa.

TAULUKKO 8. Ylikuumenemiskokeen tilavuussuhteet

| Normaalisti lämmitetty massa | Täyttöaste VFB [til.-%] | Tyhjätila V [til.-%] | Kiviaineksen tyhjätila VMA [til.-%] |
|--|-------------------------------|----------------------------|--|
| Näytekappale 1. | 87,2 | 1,8 | 14,2 |
| Näytekappale 2. | 86,6 | 1,9 | 14,3 |
| Ylikuumennettu massa | | | |
| Näytekappale 1. (tiivistys 190 °C:n lämpötilassa) | 84,8 | 2,2 | 14,4 |
| Näytekappale 2. | 83,5 | 2,4 | 14,6 |

5.1.11 Massan vanhentamiskokeen menettely

Kokeessa valmistettiin ABK 22- ja AB 16 -massat. ABK-massasta valmistettiin neljä ja AB-massasta viisi näytekappaletta kiertotiivistimellä. Molemmista massoista tiivistettiin yksi näytekappale heti massan valmistuksen jälkeen, toinen tunnin uunissaolon jälkeen, kolmas kolmen tunnin uunissaolon jälkeen ja neljäs kuuden tunnin uunissaolon jälkeen. Poikkeuksena oli, että AB-massasta valmistettiin yhteensä viisi näytekappaletta siten, että kaksi kappaletta tiivistettiin kolmen tunnin uunissaolon jälkeen. Massan lämpötila mitattiin ennen jokaisen näytekappaleen valmistusta. Näytekappaleiden valmistuksen lisäksi massan

bitumin tunkeuma tutkittiin massan valmistuksen jälkeen, tunnin vanhentamisen jälkeen, kolmen tunnin vanhentamisen jälkeen sekä kuuden tunnin vanhentamisen jälkeen. Uunin lämpötila pidettiin ABK-massalla 155 °C:ssa ja AB-massalla 140 °C:ssa, koska ABK-massan sideaineena käytettiin bitumia 50/70 ja AB-massan bitumia 100/150. ABK-massa ja AB-massa tehtiin kalliomurskeista 0/5, 5/11 ja 11/25.

5.1.12 Massan vanhentamiskokeen tulokset

Taulukoissa 9 ja 10 on esitetty asfalttimassan vanhentamiskokeen tulokset. Tulosten perusteella massan vanheneminen tapahtuu pääosin jo massan valmistus- eli sekoitusvaiheessa. ABK 22 -massa vanheni sekoituksen aikana noin kaksi bitumiluokkaa ja AB 16 -massa lähes kolme luokkaa.

Bitumin vanhenemisella ei näyttäisi olevan vaikutusta ABK 22 -massan tilavuussuhdekokeen tuloksiin. Taulukon 10 tulokset viittaisivat siihen, että massan sideaineen vanheneminen vaikuttaa tiivistettävyyteen huonontamalla sitä hieman. Kolme tuntia uunissa vanhennettu massa tiivistyy vielä normaalisti, mutta kuusi tuntia vanhentunut jo hieman huonommin. Massaa ei siis tulisi säilyttää uunissa yli kolmea tuntia. Jos massaan käytetään vieläkin pehmeämpiä bitumeja, on säilytysaikaa syytä lyhentää entisestään. Kahden kokeen perusteella on kuitenkin mahdotonta sanoa varmasti, onko vanhenemisella vaikutusta tilavuussuhdekokeen tuloksiin.

TAULUKKO 9. ABK 22-massan vanhentamiskokeen tulokset

| Aika uunissa [h] | Bitumin tunkeuma [0,1 mm] | Täyttöaste VFB [til.-%] | Tyhjätila V [til.-%] | Kiviaineksen tyhjätila VMA [til.-%] | Massan lämpötila [°C] |
|------------------------|---------------------------------|-------------------------------|----------------------------|--|-----------------------------|
| 0 | 30 | 74,1 | 3,9 | 15,1 | 170 |
| 1 | 23 | 72,7 | 4,2 | 15,3 | 155 |
| 3 | 16 | 76,0 | 3,5 | 14,8 | 155 |
| 6 | 11 | 75,6 | 3,6 | 14,8 | 157 |

TAULUKKO 10. AB 16-massan vanhentamiskokeen tulokset

| Aika uunissa [h] | Bitumin tunkeuma [0,1 mm] | Täyttöaste VFB [til.-%] | Tyhjätila V [til.-%] | Kiviaineksen tyhjätila VMA [til.-%] | Massan lämpötila [°C] |
|------------------------|---------------------------------|-------------------------------|----------------------------|---|-----------------------------|
| 0 | 54 | 79,7 | 3,2 | 16,0 | 146 |
| 1 | 46 | 79,4 | 3,3 | 16,0 | 145 |
| 3 | 43 | 79,0 | 3,4 | 16,1 | 140 |
| 3 | 43 | 79,8 | 3,2 | 15,9 | 140 |
| 6 | 28 | 77,0 | 3,8 | 16,4 | 140 |

5.1.13 Kierrätysasfaltin käyttö rouheena

Kokeen alkuperäinen AB 16 -massa valmistettiin bitumista 160/220, kalliomurskeesta 0/16 ja asfalttirouheesta 0/16. Massa sisälsi 50 % asfalttirouhetta, ja se valmistettiin Sammonmäen asfalttiasemalla. Laboratoriossa massa vanhennettiin asfalttirouheeksi ja käytettiin seuraavaan valmistettavaan massaan. Uudesta valmistetusta massasta tutkittiin tilavuussuhteet ja tunkeuma, minkä jälkeen valmistetut näytteet murskattiin ja käytettiin rouheena jälleen seuraavaan massaan, josta tutkittiin tilavuussuhteet ja tunkeuma. Tämä menettely toteutettiin yhteensä kolme kertaa. Valmistetut asfalttimassat sisälsivät aina 50 % edellistä näytettä.

Taulukossa 11 on esitetty kokeen tulokset. Kokeessa massojen bitumin tunkeuma ja tilavuussuhteet pysyvät lähes muuttumattomina, joten asfalttirouhe elpyy yhtä hyvin, vaikka rouhe sisältää jo valmiiksi rouhetta. Kokeen perusteella rouheen kiertäminen ei ole siis aiheutumassa ongelmia lähitulevaisuudessa.

TAULUKKO 11. AB 16-massan tilavuussuhde- ja tunkeumatulokset

| Elvytyskerrat | Bitumin tunkeuma [0,1 mm] | Täyttöaste VFB [til.-%] | Tyhjätila V [til.-%] | Kiviaineksen tyhjätila VMA [til.-%] |
|---------------|------------------------------|----------------------------|-------------------------|--|
| 1 | 24 | - | - | - |
| 2 | 32 | 85,9 | 2,0 | 14,2 |
| 2 | 32 | 84,2 | 2,3 | 14,5 |
| 3 | 31 | 85,7 | 2,0 | 14,3 |
| 3 | 31 | 84,3 | 2,3 | 14,5 |
| 4 | 34 | 82,4 | 2,6 | 14,8 |
| 4 | 34 | 83,2 | 2,5 | 14,6 |

6 KOEKOHTEIDEN NÄYTTEENOTTOSUUNNITELMA

Kierrätysasfalttipäällysteiden pitkäaikaiskestävyyden tutkimiseen valittiin yhteensä kuusi kohdetta. Kolme kohdetta sijaitsee Oulun lähistöllä ja kolme Helsingin lähistöllä. Ouluun valmistetut asfalttipäällysteet olivat AB 11- ja AB 16 -päällysteitä, ja ne sisältävät 35 % asfalttirouhetta. Helsingin lähistölle valmistetut asfalttipäällysteet ovat SMA 16-, AB 16- ja AB11-päällysteitä. SMA 16-päällysteen rouhepitoisuus on 15 %, AB 16 -päällysteen 65 % ja AB 11-päällysteen 50 %.

Kohteiden pitkäaikaiskestävyyttä tutkitaan taulukon 17 mukaisella tavalla. Päällysteistä porataan kerrallaan kuusi poranäytettä, joista jokaisesta tutkitaan halkaisuvetolujuus. Tunkeuma tutkitaan kolme palaa sisältävästä bituminäytteestä eli tunkeuma mitataan yhteensä kahdesta näytteestä. Halkaisuvetolujuuden ja tunkeuman tutkimisen lisäksi kohteille tehdään vuosittain vauriokartoitus ja uramittaus. Näytteenotto, vauriokartoitus ja uramittaus tehdään aina kesä- ja heinäkuun aikana. Jos vauriokartoituksessa havaitaan, että päällysteen kunto on heikentynyt huomattavasti, voidaan poranäytteet ottaa myös näytteenottosuunnitelmasta poiketen.

TAULUKKO 12. Koekohteiden näytteenottosuunnitelma

| Päällysteen ikä [a] | Halkaisuvetolujuus | Tunkeuma |
|------------------------|-------------------------------------|---|
| 1 | 1 määrittäminen (6 poranäytettä) | 2 määrittämistä (3 + 3 poranäytettä) |
| 5 | 1 määrittäminen (6 poranäytettä) | 2 määrittämistä (3 + 3 poranäytettä) |
| n. 10 | 1 määrittäminen (6 poranäytettä) | 2 määrittämistä (3 + 3 poranäytettä) |

7 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli lisätä tietoisuutta asfalttirouheen vaikutuksista asfalttimassaan. Tavoitteena oli ohjeistaa asfalttiasemia rouheen käytössä sekä laatia yhtenäinen ohje kierrätysasfalttimassojen suunnittelulle. Työ tehtiin, koska asfalttirouheen käyttö massan raaka-aineena on lisääntynyt huomattavasti viime vuosien aikana. Lisäksi asfalttiasemien laitteistoja uusitaan ja parannellaan tällä hetkellä nopealla tahdilla, joten asfalttirouheen käyttö lisääntyy tulevaisuudessa entisestään. Tavoitteena oli myös valita koekohteet ja tehdä niille mahdollisimman hyvä näytteenottosuunnitelma. Koekohteiden tarkoituksena on selvittää asfalttirouheen vaikutuksia päällysteeseen pitkällä aikavälillä.

Työssä käsiteltiin pääasiassa bitumin ominaisuuksia, koska asfalttipäällysteen ikääntyminen vaikuttaa vain päällysteen sideaineen ominaisuuksiin. Bitumin ominaisuuksista tärkeimmät ovat sen viskoelastinen rakenne ja elpymiskyky. Sarniassa ja Nynäsillä tehtyjen tutkimusten mukaan vanhentunut bitumi elpyy ominaisuuksiltaan täysin tuoreen bitumin kaltaiseksi. Bitumin ominaisuuksien lisäksi työssä käsiteltiin myös tärkeimpiä bitumin tutkimusmenetelmiä sekä bitumin ominaisuuksiin vaikuttavia tekijöitä. Bitumin tutkimusmenetelmistä tärkeimmät ovat tunkeuma, viskositeetti, pehmenemispiste. Bitumin ominaisuuksiin puolestaan vaikuttaa pääasiassa raakaöljyn asfalteenipitoisuus.

Laboratoriokokeiden pääasiallinen tarkoitus oli selvittää paras tapa suunnitella kierrätysasfalttimassoja. Edustavien tulosten saamisen lisäksi suunnitteluohjeessa oli otettava huomioon myös laboratoriotyön tehokkuus. Lisäksi laboratoriokokeilla selvitettiin käytössä olevan tunkeumalaskelman toimivuutta sekä asfalttirouheen tasalaatuisuutta.

Työn tulokset olivat osittain odotetut. Päällysteen sideaineen koveneminen on tärkein huomioon otettava asia kierrätysasfalttimassaa suunniteltaessa, koska sideaineen kovuudella on huomattava vaikutus päällysteen pitkäaikaiskestävyyteen. Asfalttirouheen muut vaikutukset päällysteeseen tulevat esiin vasta suurilla rouhepitoisuuksilla, joten niiden huomioon ottaminen ei kaikilla asfalttiasemilla ole täysin ajankohtaista. Tekniikan kehittyessä ja rouhepitoisuuksien kasvaessa vaikutukset on kuitenkin otettava huomioon.

Yllätyksellistä oli, että asfalttimassan valmistusta laboratoriossa ei voida muuttaa samankaltaiseksi kuin asfalttiasemilla. Menettelyn muuttaminen voisi kuitenkin olla mahdollista, jos kiviaines pystyttäisiin kuumentamaan laboratoriossa yhtä kuumaksi kuin asfalttiasemilla. Ongelmaksi saattaa kuitenkin muodostua suunnitteluannosten pienestä koosta johtuva materiaalien nopea viileneminen. Huolestuttavinta työn tuloksissa oli se, että laboratoriossa massan valmistuksesta aiheutuva sideaineen vanheneminen niin paljon suurempaa kuin asfalttiasemilla. Tulosten mukaan sideaineen kovuus ei vaikuta tilavuussuhdekokeen tuloksiin, mutta päällysteen deformaatiokestävyyteen ja muihin toiminnallisiin ominaisuuksiin vaikutus on luultavasti suurempi. Massan valmistuksesta aiheutuvaa sideaineen vanhenemista ja sen vaikutusta toiminnallisiin ominaisuuksiin kannattaisi tutkia lisää. Tutkimuksessa kannattaisi erityisesti keskittyä massan sekoitusajan vaikutuksiin, koska työn tulosten mukaan laboratoriossa valmistettu massa vanhenee huomattavasti massan sekoituksen aikana.

Tutkimuksen perusteella asfalttirouhe ei huononna päällysteen ominaisuuksia, jos sen vaikutukset päällysteeseen otetaan huomioon oikealla tavalla. Tässä työssä ei ollut mahdollista tutkia tarkemmin rouheen vaikutusta päällysteen pitkäaikaiskestävyyteen, joten sitä kannattaisi tutkia koekohteiden lisäksi myös laboratoriossa. Oletettavasti kierrätysasfalttipäällysteiden pitkäaikaiskestävyys ei kuitenkaan eroa puhtaista päällysteistä, koska kierrätysasfalttipäällysteiden ja puhtaiden päällysteiden ominaisuuksissa ei juuri ole eroja. Pitkäaikaiskestävyyden tutkimista varten voitaisiin valmistaa esimerkiksi muutama asfalttilaatta, jotka asetettaisiin ulos vanhenemaan. Laatoista voitaisiin tutkia vuosittain esimerkiksi tunkeuma ja halkaisuvetolujuus.

Lisäselvitysten tarpeesta huolimatta työn tavoitteet saavutettiin.

Asfalttipäällysteiden suunnitteluohjeen lisäksi rouheen tärkeimmät vaikutukset päällysteen ominaisuuksiin tunnistettiin. Asfalttipäällysteiden suunnitteluohje on tehty tämän hetken menettelyjen ja tietoisuuden perusteella, joten tulevaisuudessa se saattaa vaatia päivittämistä. Lisäksi työ sisältää pääasiassa vain yksittäisiä laboratoriokokeita, joten johtopäätösten ja linjausten tekeminen niiden pohjalta on

melko hankalaa. Kokeita olisi syytä siis tehdä lisää johtopäätösten varmistamiseksi.

LÄHTEET

PAINETUT LÄHTEET

Belt, J., Lämsä, V.-P., Savolainen, M. & Ehrola, E. 2002. Tierakenteen vaurioituminen ja tiestön kunto. Tiehallinnon selvityksiä 15/2002. Helsinki: Edita Prima Oy.

Blomberg, T. 1990. Bitumit. Helsinki: Rakentajan kustannus.

Blomberg, Y. 2013. Lemminkäinen – RAP testing. Nynäs AB.

Brown, S. 2013. RAP – It’s not just a black rock. OHMPA – Asphalttopics Fall 26/2013.

CEN TC227 WG1 & EAPA TC. 2013. Results enquiry “Asphalt Recycling” for CEN TC227 WG1 members and EAPA TC members.

Ehrola, E. & Liimatta, L. 1999. Analyttisessä mitoituksessa käytettävät asfalttipäällysteen jäykkyydet ja väsymismallit. Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 50/1999. Helsinki: Oy Edita AB.

Halttunen, K., Jämsä, H., Kollanen, T., Kurki, T., Laitinen, V., Peltonen, P., Saarela, A., Saarinen, L. & Vuorinen, J. 1993. Loppuraportti. Asfalttipäällysteiden tutkimusohjelma.

Katajamäki, H.-M. 2013. Asfalttirouheen määrän vaikutus AB16-päällysteen ominaisuuksiin. Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan ala. Rakennustekniikan opinnäytetyö.

Laitinen, V. 1992. Bitumin ja asfaltin lisäaineiden kemiaa sekä vaikutus asfalttipäällysteisiin. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Diplomityö.

Leinonen, M. 1988. Sideaineen keskeiset ominaisuudet ja niiden vaikutus päällysteen ominaisuuksiin. Asfalttipäällysteiden tutkimusohjelma.

Lämsä, V.-P. 2005. Asfaltin uusiokäyttö tierakentamisessa. Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 27/2005. Helsinki: Edita Prima Oy

Niemi, A. 1988. Sideaineen vaikutus päällysteen vanhenemiskestävyyteen. Asfalttipäällysteiden tutkimusohjelma.

Nyberg, C. 1988. Sideaineen vaikutus päällysteen deformaatiokestävyyteen. Asfalttipäällysteiden tutkimusohjelma.

PANK ry. 1988. Bitumitietopankki. Asfalttipäällysteiden tutkimusohjelma.

PANK ry. 2011. Asfalttinormit 2011. Helsinki: Edita Oy.

PANK ry. 2013. Asfalttinormit 2011 – Korjauslehti.

Read, J. & Whiteoak, D. 2003. The Shell bitumen handbook. 5. painos. Lontoo: Thomas Telford Publ.

Tiehallinto. 2000. Asfalttipäällysteiden deformatumisen vähentäminen. Tielaitoksen selvityksiä 36/2000. Helsinki: Oy Edita AB.

ELEKTRONISET LÄHTEET

Ahvenainen, R., Blomberg, T., Eskola, K., Haapavaara, J., Halonen, J., Heinäsmäki, T., Laine, P., Laitinen, V., Martikainen, P., Määttänen, S., Noponen, M., Parviainen, P., Perttunen, K., Pohjola, P. & Turunen, R. 2001. ASKO asfalttialan koulutusohjelma [viitattu 6.1.2014]. Saatavissa: http://www.infrary.fi/files/2520_ASKOpieni.pdf

Bonte, D. & McDaniel, B. 2009. Recycled asphalt pavement [viitattu 2.1.2014]. Saatavissa: <https://engineering.purdue.edu/NCSC/services/2009%20Presentations/Recycled%20Asphalt%20Pavement.pdf>

Forstén, L. 2013a. Asfaltin uusiokäyttö [viitattu 2.1.2014]. Saatavissa: http://www.infrary.fi/files/4487_ForstrenMitentsteteenpinLF2.pdf

Forstén, L. 2013b. Asfaltin uusiokäyttö [viitattu 30.12.2013]. Saatavissa: http://www.infrary.fi/files/4492_ForstenVanhaAsfaltti_TuotevaijeteLF2.pdf

Nynäs AB. 2012. Bitumin turvallinen käsittely [viitattu 4.1.2014]. Saatavissa: <http://www.nynas.com/Global/Bitumen%20for%20paving%20applications/Finland/Nynas%20Safety%20Book%20fin.pdf>

Tiehallinto. 2002. Miksi asfaltoiduilla maanteillä on joskus aika tiheäänkin suunnilleen suoria pikiviivoja poikkisuuntaan? Vastaus [viitattu 13.1.2014]. Saatavissa: <http://www.kysy.fi/kysymys/miksi-asfaltoiduilla-maanteilla-joskus-aika-tiheaan-kin-suunnilleen-suoria>

SUULLISET LÄHTEET

Kiviniemi, K. 2014. Laborantti. Lemminkäinen Infra Oy. Haastattelu 10.2.2014

Laitinen, V. 2013. Tutkimuspäällikkö. Lemminkäinen Infra Oy. Haastattelu 19.12.2013

Laitinen, V. 2014. Tutkimuspäällikkö. Lemminkäinen Infra Oy. Haastattelu 5.2.2014

LIITTEET

- LIITE 1. Asfalttirouheesta ilmoitettavat tiedot ja testattavat ominaisuudet (PANK ry 2013).
- LIITE 2. Tiebitumien laatuvaatimukset, tunkeuma 20 ... 220 [0,1 mm] (PANK ry 2011, 31).
- LIITE 3. Pehmeiden tiebitumien laatuvaatimukset, tunkeuma 250 ... 900 [0,1 mm] (PANK ry 2011, 32).

LIITE 1. Asfalttirouheesta ilmoitettavat tiedot ja testattavat ominaisuudet (PANK ry 2013)

| Käyttökohde | Asfalttirouheen määrä (%) | Ilmoitettavat tiedot | Vaatimukset |
|-------------------------------|---------------------------|---|--|
| Kulutuskerros | $\leq 10\%$ | Raekokojakautuma ja sideainepitoisuus | Testataan 2000 t välein |
| Kulutuskerros | $> 10 \%$ | Raekokojakautuma ja sideainepitoisuus Kiviaineksen maksimi raekoko Asfalttityyppi (AB, PAB-B, PAB-V, VA, SMA, ABS tai ABK) Sideaineen tyyppi sekä tunkeuma tai pehmenemispiste tai viskositeetti | Testataan 1000 t välein, vähintään 5 näytettä, Ilmoitettava, $D_{RA} \leq D$ Ilmoitettava Ilmoitettava |
| Muut sidotut rakennekerrokset | $\leq 20\%$ | Raekokojakautuma ja sideainepitoisuus | Testataan 2000 t välein |
| Muut sidotut rakennekerrokset | $> 20 \%$ | Raekokojakautuma ja sideainepitoisuus Kiviaineksen maksimi raekoko Asfalttityyppi (AB, PAB-B, PAB-V, VA, SMA, ABS tai ABK) Sideaineen tyyppi sekä tunkeuma tai pehmenemispiste tai viskositeetti | Testataan 1000 t välein, vähintään 5 näytettä , Ilmoitettava, $D_{RA} \leq D$ Ilmoitettava Ilmoitettava |

LIITE 2. Tiebitumien laatuvaatimukset, tunkeuma 250 ... 900 [0,1 mm] (PANK ry 2011, 31)

| Bitumiluokka | Menetelmä | 20/30 | 35/50 | 50/70 | 70/100 | 100/150 | 160/220 |
|---------------------------|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Tunkeuma, 25 °C | 0,1 mm | 20-30 | 35-50 | 50-70 | 70-100 | 100-150 | 160-220 |
| Pehmenemispiste | °C | 55,0-63,0 | 50,0-58,0 | 46,0-54,0 | 43,0-51,0 | 39,0-47,0 | 35,0-43,0 |
| Viskositeetti, 60 °C | Pas | ≥ 440 | ≥ 225 | ≥ 145 | ≥ 90 | ≥ 55 | ≥ 30 |
| Viskositeetti, 135 °C | mm ² /s | ≥ 530 | ≥ 370 | ≥ 295 | ≥ 230 | ≥ 175 | ≥ 135 |
| Murtumispiste | °C | | ≤ -5 | ≤ -8 | ≤ -10 | ≤ -12 | ≤ -15 |
| Ohutkalvokoe | | | | | | | |
| - massan muutos | ± m-% | ≤ 0,5 | ≤ 0,5 | ≤ 0,5 | ≤ 0,8 | ≤ 0,8 | ≤ 1,0 |
| - jäännöstunkeuma | % | ≥ 55 | ≥ 53 | ≥ 50 | ≥ 46 | ≥ 43 | ≥ 37 |
| - pehmenemispisteen nousu | °C | ≤ 10 | ≤ 11 | ≤ 11 | ≤ 11 | ≤ 12 | ≤ 12 |

LIITE 3. Pehmeiden tiebitumien laatuvaatimukset, tunkeuma 250 ... 900 [0,1 mm] (PANK ry 2011, 32)

| Bitumiluokka | Menetelmä | 250/330 | 330/430 | 500/650 | 650/900 |
|-----------------------------|-----------------|---------|---------|---------|---------|
| Tunkeuma, 15 °C | SFS-EN 1426 | 70-130 | 90-170 | 140-260 | 180-360 |
| Viskositeetti, 60 °C | SFS-EN 12596 | ≥ 18 | ≥ 12 | ≥ 7,0 | ≥ 4,5 |
| Viskositeetti, 135 °C | SFS-EN 12595 | ≥ 100 | ≥ 85 | ≥ 65 | ≥ 50 |
| Murtumispiste | SFS-EN 12593 | ≤ -16 | ≤ -18 | ≤ -20 | ≤ -20 |
| Ohutkalvokoe | SFS-EN 12607-1 | | | | |
| - massan muutos | | ≤ 1,0 | ≤ 1,0 | ≤ 1,5 | ≤ 1,5 |
| - viskositeettisuhde, 60 °C | | ≤ 4,0 | ≤ 4,0 | ≤ 4,0 | ≤ 4,0 |
| Leimahduspiste | SFS-EN ISO 2719 | ≥ 200 | ≥ 200 | ≥ 180 | ≥ 180 |
| Liukoisuus tolueeniin | SFS-EN 12592 | ≥ 99,0 | ≥ 99,0 | ≥ 99,0 | ≥ 99,0 |